

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-014005

(43)Date of publication of application : 18.01.2002

(51)Int.Cl.

G01M 11/02
G01B 11/00
G03F 7/22
H01L 21/027

(21)Application number : 2000-216868

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 18.07.2000

(72)Inventor : HAGIWARA TSUNEYUKI

(30)Priority

Priority number : 2000123553

Priority date : 25.04.2000

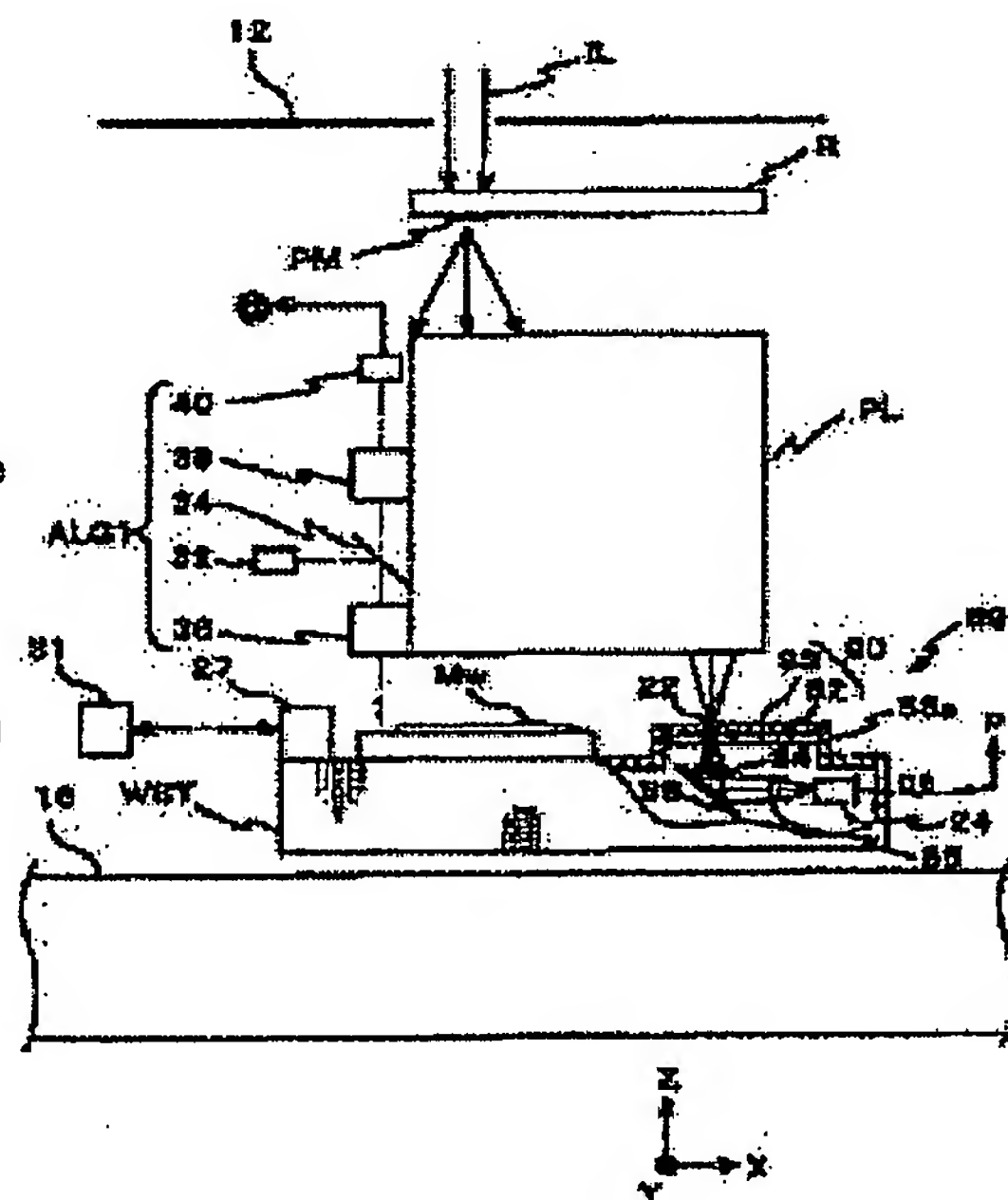
Priority country : JP

(54) MEASURING METHOD OF SPATIAL IMAGE, MEASURING METHOD OF IMAGING CHARACTERISTIC, MEASURING DEVICE FOR SPATIAL IMAGE, AND EXPOSURING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To measure a spatial image with full accuracy.

SOLUTION: A slit 22, which extends in Y-axis direction, having a width in the measurement direction (X-axis direction) less than (wavelength λ / opening number N.A. of a projection optical system), is formed in a slit plate 90 of a spatial image measurement apparatus 59. When a specific pattern PM illuminated with an illumination light IL for this purpose and when the slit plate 90 is scanned in X-axis direction to the spatial image, in a state in which the spatial image of that pattern is formed on the image surface by way of a projection optical system PL, the light having transmitted the slit 22 during scanning is photoelectrically converted with a photoelectric converter element 24. The photoelectric conversion signal (signal which corresponds to the light intensity of the spatial image) is output. Then based on the photoelectric conversion signal, light intensity distribution corresponding to the spatial image is measured with a controller. In this case, the spatial image can be measured with practically sufficient accuracy, since the width of the slit 22 is equal to or less than (λ / N.A.).



* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]It is a space image instrumentation method which measures a space image of a predetermined pattern formed of a projection optical system, A process of illuminating said pattern and forming a space image of this pattern on the image surface via said projection optical system by illumination light; while extending in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to an optic axis of said projection optical system, While width of the 2nd direction of [within said two-dimensional flat surface vertical to this] scans a slit plate which has at least one slit defined in consideration of the wavelength λ of said illumination light in said 2nd direction in said two-dimensional flat surface near [said] the image surface, A process of acquiring a photoelectric conversion signal according to intensity of said illumination light which carried out photoelectric conversion of said illumination light which penetrated said slit, and penetrated said slit, and a space image instrumentation method containing;

[Claim 2]It is a space image instrumentation method which measures a space image of a predetermined pattern formed of a projection optical system, A process of illuminating said pattern and forming a space image of this pattern on the image surface via said projection optical system by illumination light; while extending in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to an optic axis of said projection optical system, While width of the 2nd direction of [within said two-dimensional flat surface vertical to this] scans a slit plate which has at least one slit defined in consideration of numerical aperture N.A. of said projection optical system in said 2nd direction in said two-dimensional flat surface near [said] the image surface, A process of acquiring a photoelectric conversion signal according to intensity of said illumination light which carried out photoelectric conversion of said illumination light which penetrated said slit, and penetrated said slit, and a space image instrumentation method containing;

[Claim 3]The space image instrumentation method according to claim 1 or 2, wherein width of said 2nd direction of said slit is the following ($\lambda/\text{N.A.}$) which *(ed) wavelength λ of said illumination light by numerical aperture N.A. of said projection optical system more greatly than zero.

[Claim 4]The space image instrumentation method according to claim 3, wherein width of said 2nd direction of said slit is 0.8 or less time of the above ($\lambda/\text{N.A.}$).

[Claim 5]The space image instrumentation method according to claim 1 or 2, wherein width of said 2nd direction of said slit is odd times the half of a minimum pitch which is a pitch of a line and space pattern of a resolution limit which becomes settled by Lighting Sub-Division conditions including classification of said illumination light and said pattern.

[Claim 6]The space image instrumentation method according to claim 1 or 2, wherein width of said 2nd direction of said slit is specified considering wavelength of said illumination light as odd times of $\{\lambda/(2 \text{ N.A.})\}$ by making a numerical aperture of λ and said projection optical system into N.A.

[Claim 7]Carry out the Fourier transform of said photoelectric conversion signal, search for spatial frequency distribution, break this ***** spatial frequency distribution by known frequency spectrum of said slit again, and it changes into spectrum distribution of the original space image, The space image instrumentation method according to any one of claims 1 to 6 including further a process of recovering the original space image by carrying out inverse

Fourier transform of this spectrum distribution.

[Claim 8]Are an imaging characteristic instrumentation method which measures the imaging characteristic of a projection optical system, and a predetermined pattern is illuminated by illumination light, A space image of this pattern via said projection optical system. A process formed on the image surface; while scanning a slit plate which has at least one slit of prescribed width prolonged in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to an optic axis of said projection optical system in the 2nd direction vertical to said 1st direction in said two-dimensional flat surface near [said] the image surface, A process of acquiring a photoelectric conversion signal according to intensity of said illumination light which carried out photoelectric conversion of said illumination light which penetrated said slit, and penetrated said slit; a process of performing predetermined processing to said photoelectric conversion signal, and searching for the imaging characteristic of said projection optical system, and an imaging characteristic instrumentation method containing;

[Claim 9]Said pattern is a line and space pattern which has periodicity in the direction corresponding to the 2nd direction.

Detection of said photoelectric conversion signal, changing a position of said optical axis direction of said slit plate as a multiple-times repetition and said predetermined processing, The Fourier transform of two or more photoelectric conversion signals acquired by said repetition is carried out, respectively, Contrast which is a gain of each primary frequency component and 0th frequency component is searched for, The imaging characteristic instrumentation method according to claim 8 detecting best focus positions of said projection optical system by detecting a position of said optical axis direction corresponding to a photoelectric conversion signal with which this contrast serves as the maximum.

[Claim 10]The imaging characteristic instrumentation method according to claim 9 including further a process of detecting image surface shape of said projection optical system by performing detection of said best focus positions repeatedly about two or more points from which distance from an optic axis of said projection optical system differs.

[Claim 11]Detection of said best focus positions in an optic axis of said projection optical system, The imaging characteristic instrumentation method according to claim 9 including further a process of carrying out repeatedly and searching for a spherical aberration of said projection optical system based on a difference of said best focus positions corresponding to said each pattern about said two or more line and space patterns of a different pitch.

[Claim 12]Said pattern is a pattern containing at least one rectangular pattern with larger width of said 2nd direction than width of said 2nd direction of said slit.

About a space image of said pattern projected on a different position in an image field of said projection optical system, perform formation of said space image, and detection of said photoelectric conversion signal repeatedly, and as said predetermined processing, A phase of two or more photoelectric conversion signals of each, acquired by said repetition, is detected, The imaging characteristic instrumentation method according to claim 8 computing a position of a space image corresponding to said each photoelectric conversion signal based on a result of this phase detection, respectively, and asking for at least distortion of said projection optical system, and one side of magnification based on this computed result.

[Claim 13]Said pattern is a pattern containing at least one rectangular pattern with larger width of said 2nd direction than width of said 2nd direction of said slit, About a space image of said pattern projected on a different position in an image field of said projection optical system, perform formation of said space image, and detection of said photoelectric conversion signal repeatedly, and as said predetermined processing, Based on an intersection of two or more photoelectric conversion signals of each acquired by said repetition and predetermined slice level, a position of a space image corresponding to said each photoelectric conversion signal is computed, respectively, The imaging characteristic instrumentation method according to claim 8 asking for at least distortion of said projection optical system, and one side of magnification based on this computed result.

[Claim 14]The imaging characteristic instrumentation method according to claim 8, wherein said pattern is a line and space pattern which has periodicity in said 1st direction with

rectangular shape as a whole.

[Claim 15]About a space image of said pattern projected on a different position in an image field of said projection optical system, perform formation of said space image, and detection of said photoelectric conversion signal repeatedly, and as said predetermined processing, Based on an intersection of two or more photoelectric conversion signals of each acquired by said repetition and predetermined slice level, a position of a space image corresponding to said each photoelectric conversion signal is computed, respectively, The imaging characteristic instrumentation method according to claim 14 asking for at least distortion of said projection optical system, and one side of magnification based on this computed result.

[Claim 16]Said pattern is a line and space pattern which has periodicity in the direction corresponding to said 2nd direction.

The imaging characteristic instrumentation method according to claim 8 computing a line width abnormal value of each of said line pattern as said predetermined processing based on an intersection of said photoelectric conversion signal and predetermined slice level, and searching for a coma aberration of said projection optical system based on this computed result.

[Claim 17]Said pattern is a line and space pattern which has periodicity in the direction corresponding to said 2nd direction.

The 1st fundamental frequency component corresponding to a pitch of each of said line pattern of said photoelectric conversion signal as said predetermined processing, The imaging characteristic instrumentation method according to claim 8 computing phase contrast with the 2nd frequency component corresponding to width of said whole line and space pattern, and searching for a coma aberration of said projection optical system based on this computed result.

[Claim 18]Said pattern is a symmetrical mark pattern which has at least two kinds of line patterns in which line width arranged with a prescribed interval in the direction corresponding to said 2nd direction differs.

The imaging characteristic instrumentation method according to claim 8 computing a gap of the symmetry of a space image of said pattern as said predetermined processing based on an intersection of said photoelectric conversion signal and predetermined slice level, and searching for a coma aberration of said projection optical system based on this computed result.

[Claim 19]In order to be a space image metering device which measures a space image of a predetermined pattern formed of a projection optical system and to form a space image of said pattern on the image surface via said projection optical system, A lighting system which illuminates said pattern; while extending in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to an optic axis of said projection optical system, . Width of the 2nd direction vertical to this is the following ($\lambda/\text{N.A.}$) which ~~is~~ wavelength λ of said illumination light by numerical aperture N.A. of said projection optical system more greatly than zero. A slit plate which has at least one slit; Photoelectric conversion of said illumination light which penetrated said slit plate is carried out, An optoelectric transducer which outputs a photoelectric conversion signal according to intensity of said illumination light which penetrated said slit; where said pattern was illuminated by said lighting system and said space image is formed on said image surface, A processing unit which measures light intensity distribution corresponding to said space image based on a photoelectric conversion signal from said optoelectric transducer while scanning said slit plate in said 2nd direction in said two-dimensional flat surface near [said] the image surface, and a space image metering device provided with;

[Claim 20]A substrate stage which is an exposure device which transfers to a substrate a circuit pattern formed in a mask via a projection optical system, and holds said substrate; an exposure device with which said slit plate is provided with said substrate stage and the space image metering device according to claim 19 which comprised one movable.

[Claim 21]The exposure device according to claim 20 having further a control device which

measures light intensity distribution corresponding to a space image of various mark patterns using said space image metering device, and searches for the imaging characteristic of said projection optical system based on data of said the measured light intensity distribution.

[Claim 22] A mark detection system which detects a position of a mark on said substrate stage; the exposure device according to claim 20 having further a control device which detects relative position relation of a projecting position of a pattern of said mask by said projection optical system, and said mark detection system using said space image metering device.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]This invention relates to a space image instrumentation method, an imaging characteristic instrumentation method, a space image metering device, and an exposure device, and in more detail, It is related with an exposure device provided with the space image metering device and this space image metering device for performing the space image instrumentation method which measures the space image formed in the image surface from a projection optical system, the imaging characteristic instrumentation method which measures the imaging characteristic of a projection optical system using this space image instrumentation method, and said space image instrumentation method.

[0002]

[Description of the Prior Art]Conventionally, when manufacturing a semiconductor device or a liquid crystal display element by a photolithography process, A photo mask or the pattern of reticle (it is hereafter named "reticle" generically), A projection aligner transferred on substrates, such as a wafer or a glass plate in which sensitizing agents, such as photoresist, were applied to the surface via the projection optical system, For example, the reduced-projection-exposure device (what is called a stepper) of a step-and-repeat method, the scanning projection aligner (what is called a scanning stepper) of the step and scanning method, etc. are used.

[0003]By the way, since it is necessary to accumulate a different circuit pattern on many layers, and to form it on a substrate to manufacture a semiconductor device etc., it is important to pile up correctly the reticle by which the circuit pattern was drawn, and the pattern already formed in each shot region on a substrate. In order to perform this superposition with sufficient accuracy, it is indispensable that the imaging characteristic of a projection optical system is adjusted to a desired state.

[0004]It is necessary to measure an imaging characteristic correctly as a premise of adjustment of the imaging characteristic of this projection optical system. It exposes using the mask for Measurement Division in which the predetermined pattern for Measurement Division was formed as an instrumentation method of this imaging characteristic, The way (it is hereafter called the "burning method") the projection image of the pattern for Measurement Division computes an imaging characteristic based on the measuring result which measured the resist image acquired by developing the substrate by which transfer formation was carried out is mainly used. In addition, without actually exposing, the space image (projection image) of the pattern for Measurement Division which illuminated the mask for Measurement Division by the illumination light, and was formed of the projection optical system is measured, and the method (it is hereafter called "space image mensuration") of computing an imaging characteristic based on this measuring result is also performed.

[0005]Conventional space image Measurement Division was performed in general as follows. Namely, as shown, for example in drawing 38 (A), the opening plate 123 with which the square opening 122 was formed is installed on a substrate stage, To space image MP' of the pattern for Measurement Division on the reticle for Measurement Division formed of the unillustrated projection optical system, the opening plate 123 is scanned in the direction of the arrow A via a substrate stage, and photoelectric conversion of the illumination light which penetrated

the opening 122 is received and carried out by an optoelectric transducer. By this photoelectric conversion, a photoelectric conversion signal (light intensity signal corresponding to a space image) as shown in drawing 38 (B) is acquired. Next, it asks for a differential waveform as shown in drawing 38 (C) by differentiating the waveform of a photoelectric conversion signal as shown in this drawing 38 (B) to a scanning direction. And based on a differential waveform as shown in this drawing 38 (C), predetermined signal processing with the publicly known Fourier transform etc. is performed, and the optical image (space image) on which the measurement mark was projected is searched for.

[0006]About detection of the distortion of the projection optical system based on Measurement Division and this of this space image, etc., it is indicated in detail by *****10-209031***** etc., for example.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]However, if it was in the above-mentioned conventional space image instrumentation method, since the big opening was made to scan and space image intensity was measured, as shown in drawing 38 (B), a result in which the big low-frequency component in addition to the spatial frequency component by which the profile of a space image is characterized is intermingled had been brought. There is a limitation in the dynamic range of this signal-processing system that is the latter part on the other hand, The S/N ratio of the signal component which reflected the profile of the space image as a result from the resolution (for example, the actual condition about 16 bits) to the dynamic range of a signal-processing system being restricted could not but become small. For this reason, it was weak in the noise, and when changing into a space image strength signal from a space image, it was difficult [it] for degradation of an image profile to become large and to measure a space image in sufficient accuracy.

[0008]In addition, also in the former, the device which mainly scans a slit to the space image of a pattern for the purpose of detection of the image formation position of a pattern is indicated by JP,58-7823,A etc., for example. However, in the device indicated by this gazette, slit width was determined corresponding to the shape of a mask pattern (reference pattern). For this reason, it was difficult to measure correctly the space image of the pattern of various shape (a size is included).

[0009]This invention was made under this situation and the 1st purpose is to provide the space image instrumentation method and space image metering device which can measure a space image in sufficient accuracy.

[0010]The 2nd purpose of this invention is to provide the imaging characteristic instrumentation method which can measure the imaging characteristic of a projection optical system with sufficient accuracy.

[0011]The 3rd purpose of this invention is to provide the exposure device which can aim at improvement in exposure precision.

[0012]

[Means for Solving the Problem]Generally the resolution (resolution) R of a projection optical system with which an exposure device is equipped. It is expressed with relation between $R=k\lambda/\text{N.A.}$ (it is a constant (process coefficient) as which determine λ with wavelength of illumination light, N.A. is determined by numerical aperture of a projection optical system, and k is determined by a process other than the resolving power of resist) as a formula of Rayleigh may be sufficient and it is known. Then, by defining width of a scanning direction of an opening used for space image Measurement Division at least in consideration of one side with the wavelength λ of illumination light, and numerical aperture N.A. of a projection optical system, as a result of an artificer's conducting various experiments etc. paying attention to this point, It became clear that a good result was obtained in space image Measurement Division. A space image instrumentation method concerning this invention is made based on new knowledge which this artificer acquired.

[0013]The invention according to claim 1 is a space image instrumentation method which measures a space image of a predetermined pattern formed of a projection optical system (PL), A process of illuminating said pattern and forming a space image of this pattern on the image surface via said projection optical system by illumination light (IL); while extending in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to an optic axis of said projection

optical system, While width of the 2nd direction of [within said two-dimensional flat surface vertical to this] scans a slit plate (90) which has at least one slit defined in consideration of the wavelength λ of said illumination light in said 2nd direction in said two-dimensional flat surface near [said] the image surface, A process and; which acquire a photoelectric conversion signal according to intensity of said illumination light which carried out photoelectric conversion of said illumination light which penetrated said slit, and penetrated said slit are included.

[0014]According to this, by illumination light, a predetermined pattern is illuminated and a space image of this pattern is formed on the image surface via a projection optical system. And while extending in the 1st direction to this space image in a two-dimensional flat surface vertical to an optic axis of a projection optical system, While width of the 2nd direction of [within said two-dimensional flat surface vertical to this] scans a slit plate which has at least one slit defined in consideration of the wavelength λ of illumination light in the 2nd direction in said two-dimensional flat surface near the image surface, A photoelectric conversion signal according to intensity of illumination light which carried out photoelectric conversion of the illumination light which penetrated a slit, and penetrated a slit is acquired. And a space image (distribution of image strength) can be acquired by performing predetermined processing to this photoelectric conversion signal.

[0015]That is, a space image of a prescribed pattern can be acquired with a slit scan method. In this case, since width of a scanning direction of a slit is defined in consideration of wavelength of illumination light, it becomes possible to measure a space image in sufficient accuracy.

[0016]The invention according to claim 2 is a space image instrumentation method which measures a space image of a predetermined pattern formed of a projection optical system, A process of illuminating said pattern and forming a space image of this pattern on the image surface via said projection optical system by illumination light; while extending in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to an optic axis of said projection optical system, While width of the 2nd direction of [within said two-dimensional flat surface vertical to this] scans a slit plate which has at least one slit defined in consideration of numerical aperture N.A. of said projection optical system in said 2nd direction in said two-dimensional flat surface near [said] the image surface, A process and; which acquire a photoelectric conversion signal according to intensity of said illumination light which carried out photoelectric conversion of said illumination light which penetrated said slit, and penetrated said slit are included.

[0017]According to this, by illumination light, a predetermined pattern is illuminated and a space image of this pattern is formed on the image surface via a projection optical system. And while extending in the 1st direction to this space image in a two-dimensional flat surface vertical to an optic axis of a projection optical system, While width of the 2nd direction of [within said two-dimensional flat surface vertical to this] scans a slit plate which has at least one slit defined in consideration of numerical aperture N.A. of a projection optical system in the 2nd direction in said two-dimensional flat surface near the image surface, A photoelectric conversion signal according to intensity of illumination light which carried out photoelectric conversion of the illumination light which penetrated a slit, and penetrated a slit is acquired. And a space image (distribution of image strength) can be acquired by performing predetermined processing to this photoelectric conversion signal.

[0018]That is, a space image of a prescribed pattern can be acquired with a slit scan method. In this case, since width of a scanning direction of a slit is defined in consideration of a numerical aperture of a projection optical system, it becomes possible to measure a space image in sufficient accuracy.

[0019]As for width of said 2nd direction of said slit, in a space image instrumentation method concerning each invention given in the above-mentioned Claims 1 and 2, it is desirable like the invention according to claim 3 that it is the following ($\lambda/\text{N.A.}$) which λ is wavelength of said illumination light by numerical aperture N.A. of said projection optical system more greatly than zero. Since width of a scanning direction of a slit is defined in consideration of both of the wavelength λ and numerical aperture N.A. which are two parameters which affect resolution in this case, even if compared with each invention given

in Claims 1 and 2, it becomes possible to measure a space image with much more sufficient accuracy. That width of a scanning direction of a slit presupposed here that it is the following ($\lambda/\text{N.A.}$). An artificer width (it is considered as 2D) of a scanning direction of a slit as $2D=f(\lambda/\text{N.A.})=n-(\lambda/\text{N.A.})$, [1st] So that it may be because a good result (result practical enough) was obtained when it was considered as the coefficient $n=1$ as a result of repeating a simulation, an experiment, etc. and conducting them and may mention later to the 2nd, It is because the above-mentioned photoelectric conversion signal becomes a convolution of SURITSU ** and intensity distribution of a space image, so width 2D of a scanning direction of a slit from a field of measurement accuracy is so good that it is small.

[0020]In this case, as for width of said 2nd direction of said slit, it is much more desirable like the invention according to claim 4 that it is 0.8 or less time of the above ($\lambda/\text{N.A.}$). When slit width 2D was less than 80% of $\lambda/(\text{N.A.})$ according to a simulation with slit width small like **** from a field of measurement accuracy which it was moderate and an artificer performed, and the experiment, a much more practical thing was checked.

[0021]However, since light intensity which penetrates a slit will become small too much and Measurement Division will become difficult if 2D is too small if restrictions from a throughput side are taken into consideration, a certain amount of size is required.

[0022]In a space image instrumentation method concerning each invention of a description, to the above-mentioned Claims 1 and 2, like the invention according to claim 5 width of said 2nd direction of said slit, It is good also as being odd times the half of a minimum pitch which is a pitch of a line and space pattern of a resolution limit which becomes settled by Lighting Sub-Division conditions including classification of said illumination light and said pattern.

[0023]In the case of a usual pattern which is not used, here a phase shift method etc. under conventional Lighting Sub-Division the above-mentioned minimum pitch, It becomes $\lambda/\text{N.A.}$ mostly and it is checked at a case of a phase shift pattern, i.e., a pattern of a phase shift mask (phase shift reticle) which adopted a phase shift method, that a minimum pitch becomes $\lambda/(2 \text{ N.A.})$ mostly. A half-tone type, the Levenson type, etc. are mentioned as a phase shift mask.

[0024]In a space image instrumentation method concerning each invention of a description, to the above-mentioned Claims 1 and 2, like the invention according to claim 6 width of said 2nd direction of said slit, It is good also as specifying wavelength of said illumination light as odd times of $\{\lambda/(2 \text{ N.A.})\}$ by making a numerical aperture of λ and said projection optical system into N.A.

[0025]In each invention of a description, to the above-mentioned Claims 1-6, like the invention according to claim 7, Carry out the Fourier transform of said photoelectric conversion signal, search for spatial frequency distribution, break this ***** spatial frequency distribution by known frequency spectrum of said slit again, and it changes into spectrum distribution of the original space image, Suppose that a process of recovering the original space image is included further by carrying out inverse Fourier transform of this spectrum distribution.

[0026]The invention according to claim 8 is an imaging characteristic instrumentation method which measures the imaging characteristic of a projection optical system, A predetermined pattern is illuminated by illumination light, A space image of this pattern via said projection optical system. A process formed on the image surface; while scanning a slit plate which has at least one slit of prescribed width prolonged in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to an optic axis of said projection optical system in said 2nd direction vertical to said 1st direction in said two-dimensional flat surface near [said] the image surface, A process of acquiring a photoelectric conversion signal according to intensity of said illumination light which carried out photoelectric conversion of said illumination light which penetrated said slit, and penetrated said slit; a process and; which perform predetermined processing to said photoelectric conversion signal, and search for the imaging characteristic of said projection optical system are included.

[0027]According to this, by illumination light, a predetermined pattern is illuminated and a space image of this pattern is formed on the image surface via a projection optical system. While scanning a slit plate which has at least one slit of prescribed width prolonged in the 1st direction in this state in a two-dimensional flat surface vertical to an optic axis of a

projection optical system in the 2nd direction vertical to the 1st direction in said two-dimensional flat surface near the image surface, A photoelectric conversion signal according to intensity of illumination light which carried out photoelectric conversion of the illumination light which penetrated a slit, and penetrated a slit is acquired. And predetermined processing is performed to this photoelectric conversion signal, and the imaging characteristic of a projection optical system is searched for.

[0028]That is, since a space image of a prescribed pattern can be acquired, predetermined processing is performed to this acquired photoelectric conversion signal and the imaging characteristic of a projection optical system is searched for with a slit scan method, it becomes possible to measure the imaging characteristic of a projection optical system with sufficient accuracy.

[0029]In this case, like the invention according to claim 9 said pattern, When it is a line and space pattern which has periodicity in the direction corresponding to the 2nd direction, detection of said photoelectric conversion signal, changing a position of said optical axis direction of said slit plate as a multiple-times repetition and said predetermined processing, The Fourier transform of two or more photoelectric conversion signals acquired by said repetition is carried out, respectively, Contrast which is a gain of each primary frequency component and 0th frequency component can be searched for, and suppose that best focus positions of said projection optical system are detected by detecting a position of said optical axis direction corresponding to a photoelectric conversion signal with which this contrast serves as the maximum. Since the above-mentioned contrast changes sensitively according to a focusing position (defocusing amount), according to this invention, it can measure best focus positions of a projection optical system often [accuracy] and easily (determination).

[0030]In this case, suppose that a process of detecting image surface shape of said projection optical system is included further like the invention according to claim 10 by performing detection of said best focus positions repeatedly about two or more points from which distance from an optic axis of said projection optical system differs. A countless point (.) that the image surface, i.e., the best image formation face, differs in distance from an optic axis Namely, since it is a field which comprises a set of a best focal point in a countless point that the so-called height of an image differs, It becomes possible to search for the image surface easily and correctly by performing detection of best focus positions repeatedly about two or more points from which distance from an optic axis of said projection optical system differs, and performing a statistical procedure based on the detection result.

[0031]In an imaging characteristic instrumentation method concerning an invention of a description, to above-mentioned Claim 9, like the invention according to claim 11, Detection of said best focus positions in an optic axis of said projection optical system, Suppose that a process of carrying out repeatedly and searching for a spherical aberration of said projection optical system based on a difference of said best focus positions corresponding to said each pattern about said two or more line and space patterns of a different pitch is included further. A spherical aberration is one of the aperture aberration of an optical system, and when a bundle of rays with various openings from the object point on an optic axis enters into an optical system, it is a phenomenon in which the corresponding image point does not carry out image formation to one point. Therefore, based on a difference of a line and space pattern ***** repetition deed of plurality of a pitch which is different in detection of best focus positions in an optic axis of a projection optical system, and best focus positions corresponding to each pattern, a spherical aberration can be easily searched for by an operation.

[0032]In an imaging characteristic instrumentation method concerning an invention of a description, to above-mentioned Claim 8, like the invention according to claim 12 said pattern, It is a pattern containing at least one rectangular pattern with larger width of said 2nd direction than width of said 2nd direction of said slit, About a space image of said pattern projected on a different position in an image field of said projection optical system, perform formation of said space image, and detection of said photoelectric conversion signal repeatedly, and as said predetermined processing, A phase of two or more photoelectric conversion signals of each, acquired by said repetition, is detected, Based on a result of this

phase detection, a position of a space image corresponding to said each photoelectric conversion signal can be computed, respectively, and suppose that it asks for at least distortion of said projection optical system, and one side of magnification based on this computed result.

[0033]Here, distortion is the aberration of a projection optical system which becomes the image at which what should become a straight line essentially around in an image field turned, like a case where there is a magnification error by distortion, a pattern image shifts from a position on the image surface, and image formation (carrying out a strike slip) is carried out.

[0034]According to this invention, since it can ask for a position gap of a space image of a pattern projected on a different position in an image field of a projection optical system by the technique of phase detection with respectively sufficient accuracy, either [at least] distortion or magnification is measurable with sufficient accuracy as a result. Having presupposed a pattern here that at least one rectangular pattern with larger width of the 2nd direction than width of the 2nd direction of a slit is included, It is because it will become difficult under the influence of other aberration, such as a coma aberration, to measure distortion correctly if width of the 2nd direction of a pattern is smaller than a slit.

[0035]In an imaging characteristic instrumentation method concerning an invention of a description, to above-mentioned Claim 8, like the invention according to claim 13 said pattern, When it is a pattern containing at least one rectangular pattern with larger width of said 2nd direction than width of said 2nd direction of said slit, About a space image of said pattern projected on a different position in an image field of said projection optical system, perform formation of said space image, and detection of said photoelectric conversion signal repeatedly, and as said predetermined processing, Based on an intersection of two or more photoelectric conversion signals of each acquired by said repetition and predetermined slice level, a position of a space image corresponding to said each photoelectric conversion signal is computed, respectively, Suppose that it asks for at least distortion of said projection optical system, and one side of magnification based on this computed result.

[0036]According to this invention, with the technique of edge detection using a slice method, a position of a space image of a pattern projected on a different position in an image field of a projection optical system can be searched for with respectively sufficient accuracy, and distortion can be measured with sufficient accuracy as a result. Here, a pattern depends on the same Reason [that we decided that at least one rectangular pattern with larger width of the 2nd direction than width of the 2nd direction of a slit is included] as a case of Claim 12.

[0037]In an imaging characteristic instrumentation method given in above-mentioned Claim 8, said pattern is good as a whole like the invention according to claim 14 also as being a line and space pattern which has periodicity in said 1st direction with rectangular shape. In this case, with a slit scan method, when detection of a space image of a prescribed pattern is performed, The relatively scan of the slit is carried out in the direction vertical to period directions of a pattern, and a signal of a time of carrying out the slit scan of the rectangular pattern of whole shape of the pattern and the shape of isomorphism and same space image can be acquired as a result. Thereby, for example in the latest CMP process, space image Measurement Division equivalent to a time of using this mark pattern is attained, without actually forming a BOX mark (inner BOX mark) pattern of a 10-micrometer angle etc. in which formation was made difficult, since dishing arises.

[0038]In this case, like the invention according to claim 15 formation of said space image, and detection of said photoelectric conversion signal, About a space image of said pattern projected on a different position in an image field of said projection optical system, carry out repeatedly and as said predetermined processing, Based on an intersection of two or more photoelectric conversion signals of each acquired by said repetition and predetermined slice level, a position of a space image corresponding to said each photoelectric conversion signal is computed, respectively, It is good also as asking for at least distortion of said projection optical system, and one side of magnification based on this computed result.

[0039]In an imaging characteristic instrumentation method concerning an invention of a description, to above-mentioned Claim 8, like the invention according to claim 16 said pattern, When it is a line and space pattern which has periodicity in the direction corresponding to said 2nd direction, as said predetermined processing, Based on an

intersection of said photoelectric conversion signal and predetermined slice level, a line width abnormal value of each of said line pattern can be computed, and suppose that a coma aberration of said projection optical system is searched for based on this computed result. [0040]A coma aberration is the aberration of a lens by magnifications differing by various zona orbicularis of a lens, and is produced into a portion of a picture of distance which is separated from a principal axis of a projection optical system. Therefore, in a position which is separated from an optic axis, line width of each line pattern will differ among space images of a line and space pattern according to a coma aberration. Therefore, according to this invention which detects a line width abnormal value of each line pattern with the technique of edge detection using a slice method, it becomes possible to measure a coma aberration often [accuracy] and easily.

[0041]In an imaging characteristic instrumentation method concerning an invention of a description, to above-mentioned Claim 8, like the invention according to claim 17 said pattern, When it is a line and space pattern which has periodicity in the direction corresponding to said 2nd direction, as said predetermined processing, Phase contrast of the 1st fundamental frequency component corresponding to a pitch of each of said line pattern of said photoelectric conversion signal and the 2nd frequency component corresponding to width of said whole line and space pattern can be computed, and suppose that a coma aberration of said projection optical system is searched for based on this computed result. Since it is greatly influenced by a coma aberration so that width of a scanning direction of a pattern which is the target of space image Measurement Division is narrow, Influence of a coma aberration on a space image of each line pattern of a line and space pattern and influence of a coma aberration on a space image of the pattern at the time of putting the whole line and space pattern at one pattern are different. Therefore, the 1st fundamental frequency component corresponding to a pitch of each line pattern of a photoelectric conversion signal, Phase contrast with the 2nd frequency component corresponding to width of the whole line and space pattern is computed, and according to this invention which searches for a coma aberration of a projection optical system based on this computed result, a coma aberration of a projection optical system can be searched for with sufficient accuracy with the technique of phase detection.

[0042]In an imaging characteristic instrumentation method concerning an invention of a description, to above-mentioned Claim 8, like the invention according to claim 18 said pattern, When it is a symmetrical mark pattern which has at least two kinds of line patterns in which line width arranged with a prescribed interval in the direction corresponding to said 2nd direction differs, as said predetermined processing, Based on an intersection of said photoelectric conversion signal and predetermined slice level, a gap of the symmetry of a space image of said pattern can be computed, and suppose that a coma aberration of said projection optical system is searched for based on this computed result. A result which carries out a position gap greatly under the influence of a coma aberration as a space image of a line pattern with thin width of a scanning direction, As for a space image of a symmetrical mark pattern which has two or more kinds of line patterns in which line width arranged with a prescribed interval in the direction corresponding to a scanning direction differs, the symmetry shifts greatly, so that a coma aberration is large. Therefore, with the technique of edge detection using a slice method, a gap of the symmetry of a space image of said symmetry mark pattern is computed, and according to this invention which searches for a coma aberration of a projection optical system based on the computed result, a coma aberration of a projection optical system can be searched for with sufficient accuracy.

[0043]In order for the invention according to claim 19 to be a space image metering device which measures a space image of a predetermined pattern formed of a projection optical system and to form a space image of said pattern on the image surface via said projection optical system, A lighting system (10) which illuminates said pattern; while extending in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to an optic axis of said projection optical system, . Width of the 2nd direction vertical to this is the following ($\lambda/\text{N.A.}$) which λ is wavelength of said illumination light by numerical aperture N.A. of said projection optical system more greatly than zero. A slit plate (90) which has at least one slit; Photoelectric conversion of said illumination light which penetrated said slit plate is carried

out, An optoelectric transducer (24) which outputs a photoelectric conversion signal according to intensity of said illumination light which penetrated said slit; where said pattern was illuminated by said lighting system and said space image is formed on said image surface, While scanning said slit plate in said 2nd direction in said two-dimensional flat surface near [said] the image surface, it has a processing unit (20) and; which measure light intensity distribution corresponding to said space image based on a photoelectric conversion signal from said optoelectric transducer.

[0044]According to this, by a lighting system, a predetermined pattern is illuminated and a space image of this pattern is formed on the image surface via a projection optical system. And while a slit plate which has at least one slit prolonged in the 1st direction to a formed space image with a processing unit in a two-dimensional flat surface vertical to an optic axis of a projection optical system is scanned in the 2nd direction in said two-dimensional flat surface near the image surface, Based on a photoelectric conversion signal (electrical signal which carried out photoelectric conversion of the illumination light which penetrated a slit during a scan) from an optoelectric transducer, light intensity distribution corresponding to a space image is measured. That is, thus, a space image of a prescribed pattern is measured by a slit scan method. Since width of a scanning direction of a slit formed in a slit plate in this case is the following ($\lambda/\text{N.A.}$), it can measure a space image in practically sufficient high accuracy like above-mentioned Claim 3.

[0045]The invention according to claim 20 is an exposure device which transfers a circuit pattern formed in a mask (R) to a substrate (W) via a projection optical system (PL), A substrate stage (WST) holding said substrate; said slit plate (90) is provided with said substrate stage and the space image metering device according to claim 19 which comprised one movable.

[0046]From a slit plate being provided with the space image metering device according to claim 18 which comprised a substrate stage and one movable according to this. For example, a space image metering device enables it to measure a space image of various patterns for Measurement Division with high precision, forming various patterns for Measurement Division in a mask, and moving a slit plate to it by a substrate stage and one. Therefore, improvement in exposure precision is attained as a result by performing initial adjustment of the imaging characteristic of a projection optical system, etc., using this measuring result.

[0047]In this case, said space image metering device is used like the invention according to claim 21, Light intensity distribution corresponding to a space image of various mark patterns can be measured, and suppose that it has further a control device (20) which searches for the imaging characteristic of said projection optical system based on data of said the measured light intensity distribution. By a control device, in this case, light intensity distribution corresponding to a space image of various mark patterns is measured, and it is asked for the imaging characteristic of a projection optical system based on data of the measured light intensity distribution. Therefore, when required, it becomes possible to search for the imaging characteristic of a projection optical system, and it becomes possible to adjust the imaging characteristic of a projection optical system in advance of an exposure start according to this imaging characteristic searched for. Therefore, improvement in exposure precision is attained.

[0048]In an exposure device concerning an invention of a description, to above-mentioned Claim 20, like the invention according to claim 22, A mark detection system (ALG1 or ALG2) which detects a position of a mark on said substrate stage; suppose that it has further a control device which detects relative position relation of a projecting position of a pattern of said mask by said projection optical system, and said mark detection system using said space image metering device. In this case, relative position relation (namely, what is called the amount of baselines of a mark detection system) with a projecting position of a pattern of said mask by said projection optical system, i.e., an image formation position of a space image of said pattern, and a mark detection system is detected by a control device using a space image metering device. In this case, since a projecting position of a mask pattern is directly measurable with a space image metering device in Measurement Division of the amount of baselines, Compared with a case where a projecting position of a mask pattern is indirectly measured using a reference mark board and a reticle microscope, Measurement

Division of the high-precision amount of baselines is possible. Therefore, improvement in exposure precision is attained by improvement in superposition accuracy of a mask and a substrate by controlling a position of a substrate at the time of exposure, etc. using this amount of baselines.

[0049]

[Embodiment of the Invention]<<A 1st embodiment>> A 1st embodiment of this invention is hereafter described based on drawing 1 thru/or drawing 34.

[0050]The rough composition of the exposure device 100 concerning a 1st embodiment is shown in drawing 1. This exposure device 100 is the scanning projection aligner of a step and scanning method, i.e., what is called a scanning stepper.

[0051]The illumination system 10 in which this exposure device 100 contains a light source and an illumination-light study system, the reticle stage RST holding the reticle R as a mask, It has projection optical system PL, a control system which holds the wafer W as a substrate and controls the wafer stage WST as a substrate stage movable free, and these for the inside of an XY plane, etc.

[0052]said illumination system 10 is constituted including a reticle blind, a condenser lens system (any -- drawing 1 -- figures omitted -- abbreviated), etc. as a light source, an illumination equalization optical system (a collimating lens, a fly eye lens, etc. are comprised), a relay lens system, and a lighting field diaphragm.

[0053]As said light source, the excimer laser which outputs KrF excimer laser light (wavelength of 248 nm) or ArF excimer laser light (wavelength of 193 nm) shall be used as an example here.

[0054]Said reticle blind comprises the movable reticle blind 12 (refer to a graphic display abbreviation and drawing 2 in drawing 1) variable in the fixed reticle blind and aperture shape which are not illustrated [of immobilization of aperture shape]. A fixed reticle blind is arranged in the field slightly defocused from the conjugate side over the pattern surface side of the reticle R, and the rectangular opening which specifies the illuminated field IAR of rectangle slit shape on the reticle R is formed. It is arranged in the conjugate side over the pattern surface side of the reticle R near the fixed reticle blind, and the movable reticle blind 12 is a scanning direction at the time of scanning exposure (here). And it considers it as Y shaft orientations which are the space direction crossing at a right angle in drawing 1, the position and width of a direction respectively corresponding to a non-scanning direction (X axial direction which is a space longitudinal direction in drawing 1) have a variable opening.

[0055]According to the illumination system 10, after the illumination light (hereafter referred to as "illumination-light IL") as exposing light generated with the light source passes an unillustrated shutter, it is changed into the light flux in which illuminance distribution is almost uniform by an illumination equalization optical system. Illumination-light IL ejected from the illumination equalization optical system reaches said reticle blind via a relay lens system. The light flux which passed this reticle blind illuminates the illuminated field (illuminated field of the rectangle slit shape [width / of elongation Y shaft orientations] of prescribed width long and slender to an X axial direction) IAR of the reticle R which passed the relay lens system and the condenser lens system and on which the circuit pattern etc. were drawn with uniform illumination.

[0056]The movable reticle blind 12 is controlled by the main control unit 20 at the time of the start of scanning exposure, and an end, and exposure of an unnecessary portion is prevented by restricting the illuminated field IAR further. The movable reticle blind 12 is used also for setting out of the illuminated field in the case of Measurement Division of the space image by the space image measuring instrument mentioned later in this embodiment.

[0057]On said reticle stage RST, the reticle R is being fixed by vacuum absorption (or electrostatic adsorption), for example. Here the reticle stage RST by the reticle stage drive system which is not illustrated [containing a linear motor etc.]. While a very small drive is possible in two dimensions in an XY plane vertical to the optic axis AX of projection optical system PL mentioned later (to hand of cut (the direction of thetas) of the circumference of the Z-axis which intersects perpendicularly with Y shaft orientations and the XY plane which intersect perpendicularly with an X axial direction and this), It is movable at the scan speed specified as Y shaft orientations in the unillustrated reticle base top. This reticle stage RST

has a moving stroke of Y shaft orientations where the whole surface of the reticle R can cross the optic axis AX of projection optical system PL at least.

[0058]On the reticle stage RST, the moving mirror 15 which reflects the laser beam from the reticle laser interferometer (henceforth a "reticule interferometer") 13 is being fixed, By the reticule interferometer 13, the position within XY side of the reticle stage RST is always detected, for example with resolution of about 0.5–1 nm. On the reticle stage RST, the moving mirror which has a reflector which intersects perpendicularly with the moving mirror which has a reflector which intersects perpendicularly with the scanning direction at the time of scanning exposure (Y shaft orientations), and a non-scanning direction (X axial direction) is formed actually here, the reticule interferometer 13 -- these are typically shown for biaxial ***** to one axis and an X axial direction by drawing 1 as the moving mirror 15 and the reticule interferometer 13 in Y shaft orientations.

[0059]The position information on the reticle stage RST from the reticule interferometer 13, It is sent to the main control unit 20 which comprises a workstation (or microcomputer), and drive controlling of the reticle stage RST is carried out via a reticle stage drive system based on the position information on the reticle stage RST in the main control unit 20.

[0060]Said projection optical system PL is arranged at the lower part in drawing 1 of the reticle stage RST, the direction of the optic axis AX is made into Z shaft orientations -- here -- a both-sides call -- it is a centric reduction system and the dioptric system which comprises the lens element of two or more sheets arranged with the prescribed interval in accordance with the optic-axis AX direction is used. The projecting magnification of this projection optical system PL is one fifth as an example here. By for this reason, illumination-light IL which passed this reticle R when the slit shape illuminated field IAR on the reticle R was illuminated by illumination-light IL from the illumination system 10. The reduced image (partial inverted image) of the circuit pattern of the reticle R in the slit shape illuminated field IAR is formed in the exposure region [conjugate / illuminated field / on the wafer W in which photoresist was applied to the surface / IAR / said] IA via projection optical system PL.

[0061]Said wafer stage WST is driven free in XY two-dimensional side (thetaz rotation is included) by the wafer stage drive system which is not illustrated [which comprises a magnetic levitation type two-dimensional linear actuator over the stage base 16 upper surface]. Here, since the two-dimensional linear actuator has Z drive coil besides X drive coil and Y drive coil, the wafer stage WST has become also in the 3 flexibility directions of Z, thetax, and thetay with the composition which can be driven very small.

[0062]The wafer holder 25 is laid on the wafer stage WST, and the wafer W is held by this wafer holder 25 by vacuum absorption (or electrostatic adsorption).

[0063]In using the two-dimensional moving stage which is replaced with the wafer stage WST and driven only in XY two-dimensional side by drive systems, such as a linear motor or a planar motor, What is necessary is just to carry the wafer holder 25 on the two-dimensional moving stage via Z and the leveling table by which a very small drive is carried out with a voice coil motor etc. in the 3 flexibility directions of Z, thetax, and thetay.

[0064]With the wafer interferometer 31 which the moving mirror 27 which reflects the laser beam from the wafer laser interferometer (henceforth a "wafer interferometer") 31 was fixed on said wafer stage WST, and has been arranged outside. The position within XY side of the wafer stage WST is always detected with the resolution which is about 0.5–1 nm.

[0065]Actually here on the wafer stage WST, The moving mirror which has a reflector which intersects perpendicularly with the moving mirror which has a reflector which intersects perpendicularly with Y shaft orientations which are scanning directions at the time of scanning exposure, and the X axial direction which is non-scanning directions is formed, and the wafer interferometer 31 in one axis and an X axial direction in Y shaft orientations biaxial ***** , These are typically shown by drawing 1 as the moving mirror 27 and the wafer interferometer 31. The position information on the wafer stage WST (or speed information) is sent to the main control unit 20, and controls the position within XY side of the wafer stage WST by the main control unit 20 via an unillustrated wafer stage drive system based on said position information (or speed information).

[0066]On the wafer stage WST, the space image measuring instrument 59 used for Measurement Division of the imaging characteristic of projection optical system PL is

formed. Here, the composition of this space image measuring instrument 59 is explained in full detail. This space image measuring instrument 59 is formed in the projected part 58a portion in which the upper part established in the end part upper surface of the wafer stage WST carried out the opening, as shown in drawing 2. This space image measuring instrument 59 is formed in the light-receiving glass 82 of a plane view rectangle inserted in from the upper part in the state of plugging up the opening of the projected part 58a, and the upper surface of this light-receiving glass 82, The relay optical system which comprises the reflection film 83 which serves as the light-shielding film in which the slit 22 was formed in the part, and the lenses 84 and 86 arranged inside slit 22 lower-part wafer stage WST, The bending mirror 88 (here) which bends the optical path of the illumination luminous flux (image light bunch) relayed by this relay optical system (84, 86) by predetermined light path length And a light-receiving optical system is constituted by the lenses 84 and 86 and the mirror 88, it is constituted including the photosensor 24 grade as an optoelectric transducer.

[0067]As a raw material of said light-receiving glass 82, good synthetic quartz or fluorite of the permeability of KrF excimer laser light or ArF excimer laser light, etc. is used here. The optoelectric transducer which can detect a weak light with sufficient accuracy as the photosensor 24 (photo detector), for example, a photomultiplier etc., is used. In this embodiment, the slit plate is formed with the light-receiving glass 82 and the reflection film 83. In the following explanation, the slit plate which comprises the light-receiving glass 82 and the reflection film 83 shall be suitably called "the slit plate 90." Although the slit 22 is formed in the reflection film 83 like the above-mentioned, it explains as that by which the slit 22 is formed below in the slit plate 90 for convenience.

[0068]In the case of Measurement Division of the projection image (space image) which passes projection optical system PL of the pattern for Measurement Division formed in the reticle R mentioned later in this embodiment. If the slit plate 90 which constitutes the space image measuring instrument 59 by illumination-light IL which has penetrated projection optical system PL is illuminated, Illumination-light IL which penetrated the slit 22 on the slit plate 90 is received with the photosensor 24 via the above-mentioned light-receiving optical system (84, 86, 88), and the photoelectric conversion signal (light intensity signal) P according to the light income is outputted to the main control unit 20 from this photosensor 24.

[0069]The photosensor 24 may arrange the photosensor 24 to the exterior of the wafer stage WST like space image measuring instrument 59' which does not necessarily need to provide in the inside of the wafer stage WST, for example, is shown in drawing 3. In drawing 3, the two heights 58a and 58b by which the upper surface was mostly used as the surface of the wafer W with the same side are formed in the wafer stage WST. The slit plate 90 constituted like the case of drawing 2 is formed in the heights 58a, and the lenses 84 and 86 and the mirror 88 are arranged by the same physical relationship as drawing 2 inside the wafer stage WST of this slit plate 90 lower part. In this case, the light guide 85 is also stored inside the wafer stage WST. This light guide 85 is arranged at the position [conjugate / acceptance surface / in which the slit 22 was formed / incidence edge / 85a / that]. the light transmission lens 87 with which the ejection end 85b of this light guide 85 was fixed to the upper surface of the heights 58b -- it is arranged mostly just under.

[0070]Above the light transmission lens 87, the light-receiving lens 89 of the major diameter is arranged compared with this light transmission lens 87. The photosensor 24 is arranged at the upper ejection end 85b of this light-receiving lens 89, and the conjugate position. These light-receiving lens 89 and the photosensor 24 maintain the above-mentioned physical relationship, and are stored in the case 92, and this case 92 is being fixed to the unillustrated holddown member.

[0071]In the case of Measurement Division of the projection image (space image) which passes projection optical system PL of the pattern for Measurement Division formed in the reticle R mentioned later in space image measuring instrument 59' of this drawing 3. Lighting Sub-Division of the slit plate 90 which constitutes space image measuring instrument 59' by illumination-light IL which has penetrated projection optical system PL will enter in the incidence edge 85a of the light guide 85 illumination-light IL which penetrated the slit 22 on the slit plate 90 via the lens 84, the mirror 88, and the lens 86. After the light drawn by the

light guide 85 is ejected from the ejection end 85b, it is drawn by the exterior of the wafer stage WST via the light transmission lens 87. And the light drawn by the exterior of the wafer stage WST is received by the photosensor 24 via the light-receiving lens 89, and the photoelectric conversion signal (light intensity signal) P according to the light income is outputted to the main control unit 20 from this photosensor 24.

[0072]In this case, since Measurement Division of the projection image of the pattern for Measurement Division is performed by the slit scan method, in that case, the light-receiving lens 89 and the photosensor 24 will move to the light transmission lens 87. So, in this space image measuring instrument 59', the size of each lens is set up so that all the lights through the light transmission lens 87 which moves within the limits of predetermined may enter into the light-receiving lens 89.

[0073]Thus, in space image measuring instrument 59' with the slit plate 90, the lenses 84 and 86, the mirror 88, the light guide 85, and the light transmission lens 87. The photoconductive appearance part which derives the light through the slit 22 outside the wafer stage WST is constituted, and the light sensing portion which receives the light drawn out of the wafer stage WST by the light-receiving lens 89 and the photosensor 24 is constituted. In this case, these photoconductive appearance part and the light sensing portion are separated mechanically. And only by facing space image Measurement Division, a photoconductive appearance part and a light sensing portion are optically connected via the light transmission lens 87 and the light-receiving lens 89.

[0074]That is, in space image measuring instrument 59', since the photosensor 24 is formed in the prescribed position of the exterior of the wafer stage WST, it originates in generation of heat of the photosensor 24, and does not have an adverse effect on the measurement accuracy of the laser interferometer 31, etc. Since the exterior and the inside of the wafer stage WST are not connected by a light guide etc., the driving accuracy of the wafer stage WST is not damaged like [when the exterior and the inside of the wafer stage WST are connected by the light guide].

[0075]The space image instrumentation method performed using the space image measuring instruments 59 (or 59') of the slit 22 on the slit plate 90 which constitutes the space image measuring instrument 59 (or 59'), such as shape and a size, and the instrumentation method of an imaging characteristic are explained in full detail behind.

[0076]It returns to drawing 1 and off-axis alignment microscope ALG1 as a mark detection system which detects the alignment mark (alignment mark) on the wafer W is provided in the side of projection optical system PL. According to this embodiment, the alignment sensor of the FIA (Filed Image Alignment) system of an image processing method is used as this alignment microscope ALG1. This alignment microscope ALG1 is constituted including the light source 32 for alignment, the half mirror 34, the 1st object lens 36, the 2nd object lens 38, and image sensor (CCD) 40 grade, as shown in drawing 2. Here, the halogen lamp etc. which emit the broadband illumination light as the light source 32 are used. As shown in drawing 4, in this alignment microscope ALG1' by the illumination light from the light source 32. The alignment mark Mw on the wafer W is illuminated via the half mirror 34 and the 1st object lens 36, and the catoptric light from the alignment mark portion is received with the image sensor 40 via the 1st object lens 36, the half mirror 34, and the 2nd object lens 38. Thereby, image formation of the light field image of the alignment mark Mw is carried out to the acceptance surface of an image sensor. And the photoelectric conversion signal corresponding to this light field image, i.e., the light intensity signal corresponding to the reflected figure of the ally man ** mark Mw, is supplied to the main control unit 20 from the image sensor 40. In the main control unit 20, while computing the position of the alignment mark Mw on the basis of the detecting center of alignment microscope ALG based on this light intensity signal, Based on the computed result and the position information on the wafer stage WST which is an output of the wafer interferometer 31 at that time, the coordinates position of the ally man ** mark Mw in the stage coordinate system specified with the optic axis of the wafer interferometer 31 is computed.

[0077]In the exposure device 100 of this embodiment, as shown in drawing 1, it has a light source by which turning on and off is controlled by the main control unit 20, The irradiation optical system 60a which irradiates with the image formation light flux for forming many

pinholes or the image of a slit towards the image formation face of projection optical system PL from an oblique direction to the optic axis AX, The multipoint focal position detection system (focus sensor) of the oblique incidence light type which comprises the light-receiving optical system 60b which receives the reflected light flux in the wafer W surface of those image formation light flux is provided. In the main control unit 20, when focus fluctuation arises in projection optical system PL, By controlling the inclination to the optic axis of the reflected light flux of the parallel plate within the light-receiving optical system 60b which is not illustrated, offset is given to a focal position detection system (60a, 60b) according to the focus fluctuation of projection optical system PL, and the calibration is performed. The detailed composition of the focal position detection system (60a, 60b) of this embodiment and same multipoint focal position detection system (focus sensor) is indicated by JP,H6-283403,A etc., for example.

[0078]In the main control unit 20, at the time of the scanning exposure mentioned later, etc., the focal gap signal from the light-receiving optical system 60b (defocus signal), For example, by controlling Z position, the amount of pitching (thetax rotation), and the amount of rolling (thetay rotation) of the wafer stage WST via an unillustrated wafer stage drive system so that a focal gap serves as zero based on S curve signals, Auto-focusing (automatic-focusing doubling) and auto leveling are performed.

[0079]Next, operation of the exposure process in the exposure device 100 of this embodiment is explained briefly.

[0080]First, the reticle R is conveyed by an unillustrated reticle conveyance system, and adsorption maintenance is carried out in the reticle stage RST in a loading position. Subsequently, the position of the wafer stage WST and the reticle stage RST is controlled by the main control unit 20, Using the space image measuring instrument 59, as the projection image (space image) of the reticle alignment marks which are not illustrated [which was formed on the reticle R] mentions later, it is measured (refer to drawing 2), and the projecting position of a reticle pattern image is called for. That is, reticle alignment is performed.

[0081]Next, the wafer stage WST is moved and the slit 22 which serves as a datum reference of the space image measuring instrument 59 by alignment optical system ALG1 is detected so that the space image measuring instrument 59 may be located directly under alignment microscope ALG1 with the main control unit 20. Signs that the slit 22 is detected by this alignment optical system ALG1 are shown in drawing 5. In the main control unit 20, the detecting signal of this alignment microscope ALG1, and the measurement value of the wafer interferometer 31 at that time, And it asks for the relative position of baselines of the projecting position of the pattern image of the reticle R, and alignment optical system ALG1, i.e., the amount of alignment microscope ALG1, based on the projecting position of the reticle pattern image searched for previously.

[0082]After this base line measurement is completed, by the main control unit 20, wafer alignment of EGA (enhanced global alignment) etc. which are indicated in detail is performed, for example to JP,S61-44429,A etc., and the position of all the shot regions on the wafer W is searched for. On the occasion of this wafer alignment, as the wafer alignment mark Mw of the predetermined sample shots as which it was beforehand determined of two or more shot regions on the wafer W mentioned above using alignment microscope ALG1, it is measured by carrying out (refer to drawing 2).

[0083]Subsequently, monitoring the position information from the interferometers 31 and 13 in the main control unit 20 based on the position information and the amount of baselines of each shot region on the wafer W for which it asked in the top. While positioning the wafer stage WST to the scan start position of the 1st shot region, the reticle stage RST is positioned to a scan start position, and scanning exposure of the 1st shot region is performed.

[0084]Namely, if the relatively scan for Y shaft-orientations contrary to the reticle stage RST and the wafer stage WST is started and both the stages RSTWST reach each target scan speed in the main control unit 20, By exposing light EL, the pattern space of the reticle R begins to be illuminated and scanning exposure is started. Although luminescence of the light source is started in advance of the start of this scanning exposure, Since synchronous

control of the movement of each braid of the movable blind which constitutes a reticle blind with the main control unit 20 is carried out to movement of the reticle stage RST, it is the same as that of the usual scanning stepper that the exposure of exposing light EL to the outside of the pattern space on the reticle R is shaded.

[0085]In the main control unit 20. Synchronous control of the reticle stage RST and the wafer stage WST is carried out so that the movement speed V_r of Y shaft orientations of the reticle stage RST and the movement speed V_w of the X axial direction of the wafer stage WST may be especially maintained by the velocity ratio according to the projecting magnification of projection optical system PL at the time of the above-mentioned scanning exposure.

[0086]And the field where the pattern spaces of the reticle R differ is illuminated one by one by ultraviolet pulsed light, and when Lighting Sub-Division to the whole pattern space surface is completed, the scanning exposure of the 1st shot region on the wafer W is completed. Thereby, reduction transfer of the circuit pattern of the reticle R is carried out via projection optical system PL in the 1st shot region.

[0087]In this way, an end of the scanning exposure of the 1st shot region will perform stepping operation between the shots which move the wafer stage WST to the scan start position of the 2nd shot region. And scanning exposure of the 2nd shot region is performed like ****. Henceforth, operation with the 3rd same shot region or subsequent ones is performed.

[0088]Thus, the stepping operation between shots and scanning exposure operation of a shot are repeated, and the pattern of the reticle R is transferred by a step and scanning method by all the shot regions on the wafer W.

[0089]the focus sensor (60a.) attached in one during the above-mentioned scanning exposure here at projection optical system PL. The inclination to the interval of the wafer W surface and projection optical system PL (the image surface) and an XY plane (image surface) is measured by 60b, and the wafer stage WST is controlled so that the interval of the wafer W surface and projection optical system PL and parallelism always become fixed with the main control unit 20.

[0090]By the way, in order to pile up correctly the pattern of the reticle R, and the pattern already formed in the shot region on the wafer W during the above-mentioned scanning exposure. It is important that the imaging characteristic and the amount of baselines of projection optical system PL are measured correctly, that the imaging characteristic of projection optical system PL is adjusted to the desired state, etc.

[0091]According to this embodiment, the space image measuring instrument 59 or 59' (hereafter, it represents and is described as "the space image measuring instrument 59") is used for Measurement Division of the above-mentioned imaging characteristic. Hereafter, the space image Measurement Division by this space image measuring instrument 59, Measurement Division of the imaging characteristic of projection optical system PL, etc. are explained in full detail.

[0092]The state in the midst of the space image of the pattern for Measurement Division formed in the reticle R being measured using the space image measuring instrument 59 is shown in drawing 2. As the reticle R, the thing only for space image Measurement Division or the thing which formed the mark for Measurement Division for exclusive use in the device reticle used for manufacture of a device is used. Instead of such reticles, the fixed mark board (called a reticle fiducial mark board) which comprises the glass material of reticle and same material may be formed in the reticle stage RST, and what formed the mark for Measurement Division (pattern for Measurement Division) in this mark board may be used.

[0093]Here, as shown in drawing 2, pattern PM for Measurement Division which changes from the line and space mark which has periodicity to an X axial direction shall be formed in a predetermined part at the reticle R. As shown in drawing 6 (A), the slit 22 of prescribed width 2D extended to Y shaft orientations shall be formed in the slit plate 90 of the space image measuring instrument 59. Below, a line and space is suitably sketched as "last shipment."

[0094]In Measurement Division of a space image, the movable reticle blind 12 is driven via an unillustrated blind drive with the main control unit 20, and the illuminated field of illumination-light IL of the reticle R is specified only into the pattern PM portion for Measurement

Division (refer to drawing 2). In this state, if illumination-light IL is irradiated by the reticle R, as shown in drawing 2, the light (illumination-light IL) diffracted and scattered about by pattern PM for Measurement Division will be refracted by projection optical system PL, and space image (projection image) PM' of pattern PM for Measurement Division will be formed in the image surface of this projection optical system PL. At this time, the wafer stage WST shall be set as the position by which said space image PM' is formed in the +X side (or the -X side) of the slit 22 on the slit plate 90 of the space image measuring instrument 59. The top view of the space image measuring instrument 59 at this time is shown in drawing 6 (A). [0095] And with the main control unit 20, as the wafer stage WST is shown by the arrow F in drawing 6 (A) via a wafer stage drive system, when it drives in the direction of +X, the slit 22 is scanned by the X axial direction to space image PM'. During this scan, the light (illumination-light IL) which passes the slit 22 is received with the photosensor 24 via the light-receiving optical system (a photoconductive appearance part and a light-receiving lens when [or] it is drawing 3) in the wafer stage WST, and that photoelectric conversion signal is supplied at the main control unit 20. In the main control unit 20, the light intensity distribution corresponding to space image PM' is measured via an unillustrated signal-processing system based on the photoelectric conversion signal.

[0096] An example of the photoelectric conversion signal (light intensity signal) P acquired in the case of above-mentioned space image Measurement Division is shown in drawing 6 (B).

[0097] In this case, an image equalizes space image PM' under the influence of the width (2D) of the scanning direction (not the scanning direction at the time of scanning exposure but the scanning direction to the above-mentioned space image, i.e., an X axial direction) of the slit 22.

[0098] Therefore, if intensity distribution of $p(x)$ and a space image is made into $i(x)$ and the light intensity signal observed is made into $m(x)$, the relation between intensity distribution $i(x)$ of a space image and strength signal $m(x)$ observed can express a slit with the following (1) type. Let the unit of intensity distribution $i(x)$ and strength signal $m(x)$ be the intensity per unit length in this (1) type.

[0099]

[Equation 1]

$$m(x) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x-u) \cdot i(u) du \quad \dots(1)$$

[0100]

[Equation 2]

$$p(x) = \begin{cases} 1(|x| \leq D) \\ 0(|x| > D) \end{cases} \quad \dots(2)$$

[0101] That is, strength signal $m(x)$ observed becomes a convolution of SURITSU ** $p(x)$ and intensity distribution $i(x)$ of a space image.

[0102] Therefore, from a field of measurement accuracy, width (it is only hereafter called "slit width") 2D of a scanning direction of a slit is so good that it is small.

[0103] An artificer repeated various simulations, an experiment, etc. as the function f of the wavelength λ of illumination-light IL, and numerical aperture N.A. of projection optical system PL ($\lambda/\text{N.A.}$), and performed slit width 2D. The result checked that it is practical enough, and it was more practical if it is especially $n \leq 0.8$, when it was considered as slit width $2D = n \cdot (\lambda/\text{N.A.})$ and was considered as the coefficient $n \leq 1$. Here, that it is practical means that there is little degradation of an image profile in the case of conversion of a space image \rightarrow space image strength signal, the big dynamic range becomes unnecessary at a signal-processing system after the photosensor 24 (optoelectric transducer), and sufficient accuracy is obtained.

[0104] If an example of a result with the good above is shown, it will become as it is shown in the next table 1, for example.

[0105]

[Table 1]

波長(nm)	投影レンズの開口数	(A)波長/投影レンズの開口数	B=A×0.8
248	0.68	364	291
248	0.75	331	264
193	0.65	297	238
193	0.75	257	206
193	0.85	227	182

[0106]As shown also in the above-mentioned table 1, sufficient slit width (opening size: B in Table 1) changes with a numerical aperture and wavelength, but 300 nm or less of outlines are suitable values. A slit of this level can be manufactured using commercial chromium reticle (called MASUKUBU Ranks.).

[0107]As for chromium reticle, the chromium film of about 100-nm thickness is usually vapor-deposited by the quartz substrate. The thing of a quartz substrate of 2.286 mm, 3.048 mm, 4.572 mm, and 6.35-mm thickness is standard.

[0108]When using a photomultiplier as the photosensor 24 like **** like [slit width 2D is so good that it is small, and] this embodiment, if a scan speed is made late and many hours are spent on Measurement Division even if slit width becomes very small, detection of light volume (light intensity) is possible. However, since the scan speed at the time of space image Measurement Division has fixed restrictions from the field of a throughput actually, if slit width 2D is too small, the light volume which penetrates the slit 22 will become small too much, and Measurement Division will be difficult.

[0109]According to the knowledge which the artificer acquired by the simulation, experiment, etc., it was checked that the optimum value of slit width 2D serves as a half grade of the resolution limit pitch (pitch of a last shipment pattern) of an exposure device. This is explained further in full detail later.

[0110]The space image metering device is constituted from this embodiment by the illumination-light study system 10, the space image measuring instrument 59 (the slit plate 90 and the photosensor 24 are included), the wafer stage WST, and the main control unit 20 so that clearly from old explanation. Among these, the processing unit which accomplishes some space image metering devices is constituted by the main control unit 20.

[0111]The space image metering device and space image instrumentation method which were mentioned above are used for detection of a. best focus positions, detection of the image formation position of b. pattern image, the base line measurement of c. alignment microscope ALG, etc.

[0112]Since c. base line measurement in the exposure device 100 of this embodiment was already explained, detection of the above-mentioned a. best focus positions and detection of the image formation position of b. pattern image are explained hereafter, mixing working example.

<Detection of best focus positions> Detection of these best focus positions is used for the purposes, such as detection of the best focus positions of A. projection optical system PL, detection of the best image formation face (image surface), and B. spherical aberration measurement, for example.

[0113]The result of the image formation simulation corresponding to the case where it measures with the space image instrumentation method which mentioned above the space image of the last shipment mark of the linewidth of 0.2 micrometer and 50% of a duty ratio is shown in drawing 7 – drawing 12. The conditions of this simulation are the wavelength of 248 nm of the illumination light, N.A.=0.68 of a projection optical system, and coherence factor $\sigma=0.85$ of Lighting Sub-Division, and are slit width 2D=0.3micrometer. This condition is close to the conditions of B of Table 1. In drawing 7 – drawing 12, a horizontal axis shows X position (micrometer) of a slit, and a vertical axis shows light intensity (energy value).

[0114]Drawing 7 shows the simulation result in the Beth ** focusing position. In this drawing 7, waveform P2 shown as a solid line are equivalent to $i(x)$ of (1) type by the space image of 0.2micromL/S, and waveform P3 shown by a dotted line are equivalent to $m(x)$ of (1) type with the light intensity signal acquired by the scan (space image Measurement Division) of a slit.

[0115]Drawing 8 shows the spatial frequency component at the time of carrying out the Fourier transform of the strength signal P3 of drawing 7, i.e., $m(x)$, with the original strength signal P3. In drawing 8, waveform P7 waveform P6 waveform P5 waveform P4 shown with a

dashed line are indicated to be with a dashed dotted line in a zero-order frequency component are indicated to be with a two-dot chain line in a primary frequency component are indicated to be as a solid line in a secondary frequency component show the 3rd frequency component, respectively. By drawing 8, in order to identify easily, P4-P7 pad only 1.0, and they are shown.

[0116]Drawing 9 shows the simulation result at the time of defocusing 0.2 micrometer from best focus positions. In this drawing 9, waveform P2 shown as a solid line are equivalent to $i(x)$ of (1) type by the space image of 0.2micromL/S, and waveform P3 shown by a dotted line are equivalent to $m(x)$ of (1) type with the light intensity signal acquired by the scan (space image Measurement Division) of a slit.

[0117]Drawing 10 shows the spatial frequency component at the time of carrying out the Fourier transform of the strength signal P3 of drawing 9 with the original strength signal P3. In drawing 10, waveform P7 waveform P6 waveform P5 waveform P4 shown with a dashed line are indicated to be with a dashed dotted line in a zero-order frequency component are indicated to be with a two-dot chain line in a primary frequency component are indicated to be as a solid line in a secondary frequency component show the 3rd frequency component, respectively. By drawing 10, in order to identify easily, P4-P7 pad only 1.0, and they are shown.

[0118]Drawing 11 shows the simulation result at the time of defocusing 0.3 micrometer from best focus positions. In this drawing 11, waveform P2 shown as a solid line are equivalent to $i(x)$ of (1) type by the space image of 0.2micromL/S, and waveform P3 shown by a dotted line are equivalent to $m(x)$ of (1) type with the light intensity signal acquired by the scan (space image Measurement Division) of a slit.

[0119]Drawing 12 shows the spatial frequency component at the time of carrying out the Fourier transform of the strength signal P3 of drawing 11 with the original strength signal P3. In drawing 12, waveform P7 waveform P6 waveform P5 waveform P4 shown with a dashed line are indicated to be with a dashed dotted line in a zero-order frequency component are indicated to be with a two-dot chain line in a primary frequency component are indicated to be as a solid line in a secondary frequency component show the 3rd frequency component, respectively. By drawing 12, in order to identify easily, P4-P7 pad only 1.0, and they are shown.

[0120]The shape of the image has collapsed clearly by 0.2-micrometer defocusing so that it may turn out that drawing 7 is compared with drawing 9. When drawing 9 is compared with drawing 11, it turns out that the shape of an image has collapsed further clearly with increase of a defocusing amount.

[0121]As mentioned above, if the light intensity signal P3 is divided into a frequency component, various signal processing can be performed easily. For example, when its attention is paid to the contrast which is the gain of the primary frequency component P5 and the zero-order frequency component P4, i.e., a (primary/zero-order) gain, the contrast in the case of the best focus positions shown in drawing 8 is 0.43. The contrast at the time of defocusing 0.2 micrometer from the best focus positions shown in drawing 10 is 0.24. The contrast at the time of defocusing 0.3 micrometer from the best focus positions shown in drawing 12 is 0.047.

[0122]Thus, since the contrast which is a (primary/zero-order) gain changes with focusing positions sensitively, it is convenient to determine best focus positions from a strength signal. That is, best focus positions are detectable by asking for the focusing position where the contrast which is a (primary/zero-order) gain serves as the maximum.

[0123]So, in this embodiment, the best focus positions of projection optical system PL are detected as follows.

[0124]The reticle for Measurement Division (it is considered as reticle R' for convenience) in which the last shipment mark of the linewidth of 0.2 micrometer (it is 1 micrometer on reticle) and 50% of the duty ratio was formed as pattern PM for Measurement Division is used for detection of these best focus positions on a wafer, for example. Detection of these best focus positions shall be performed under the completely same conditions as the simulation mentioned above.

[0125]First, reticle R' is loaded on the reticle stage RST by an unillustrated reticle loader.

Next, in the main control unit 20, pattern PM for Measurement Division on reticle R' moves in the reticle stage RST so that it may be mostly in agreement on the optic axis of projection optical system PL.

[0126]Next, with the main control unit 20, drive controlling of the movable reticle blind 12 is carried out, and an illuminated field is specified so that illumination-light IL may be irradiated by only the pattern PM portion for Measurement Division. Reticle R' is irradiated with illumination-light IL, and in this state, a slit scan method performs space image Measurement Division of pattern PM for Measurement Division like the above-mentioned like the above-mentioned in the main control unit 20 using the space image measuring instrument 59, scanning the wafer stage WST to an X axial direction. Under the present circumstances, in the main control unit 20, a multiple-times repetition and the light intensity signal (photoelectric conversion signal) of each time are memorized to an internal memory, changing the position (namely, Z position of the wafer stage WST) of Z shaft orientations of the slit plate 90.

[0127]And in the main control unit 20, the Fourier transform of two or more light intensity signals (photoelectric conversion signal) acquired by said repetition is carried out, respectively, and the contrast which is a gain of each primary frequency component and zero-order frequency component is searched for. And in the main control unit 20, that contrast detects Z position (namely, position of Z shaft orientations of the slit plate 90) of the wafer stage WST corresponding to the light intensity signal used as the maximum, and determines this position as best focus positions of projection optical system PL. Since contrast changes sensitively like the above-mentioned according to a focusing position (defocusing amount), the best focus positions of projection optical system PL are often [accuracy] and easily measurable (determination).

[0128]Although the amplitude of the frequency component of the secondary high order more than degree is generally small and amplitude to an electric noise and an optical noise may fully be unable to be taken, In being satisfactory in respect of a S/N ratio (a signal/noise), even if it observes change of the gain of a high order frequency component, it can ask for best focus positions. Although it is desirable for a linewidth and space width to be the patterns which are 50% of equal duty ratios as for the last shipment mark which is a pattern for Measurement Division, it is also possible to use the mark of the other duty ratio.

According to the knowledge which the artificer acquired as a result of the experiment etc., when the array cycle of the line pattern of a last shipment mark, i.e., mark pitch P_M , was the following (3) type grade, it became clear that a good result was obtained.

[0129]

$$P_M = \lambda / \text{N.A.} \times (1-1.2) \text{ --- (3)}$$

Detection of best focus positions is possible not only by the method of using the contrast mentioned above but the technique of detecting Z position (focusing position) from which the differential value of the light intensity signal P (m(x) of (1) type) serves as the maximum.

[0130]Detection of the image surface shape of projection optical system PL can be performed as follows.

[0131]That is, when detecting this image surface shape, as shown in drawing 13 as an example, the reticle R1 for Measurement Division by which pattern $PM_{1\text{for Measurement Division}}$ of pattern PM for Measurement Division and the identical size same synchronization which were mentioned above - PM_n were formed in pattern space PA is used.

[0132]First, the reticle R1 is loaded on the reticle stage RST by an unillustrated reticle loader. Next, in the main control unit 20, pattern PM_k for Measurement Division which exists in the center of the reticle R1 moves in the reticle stage RST so that it may be mostly in agreement on the optic axis of projection optical system PL. Next, with the main control unit 20, drive controlling of the movable reticle blind 12 is carried out, and an illuminated field is specified so that illumination-light IL may be irradiated by only the pattern PM_1 portion for Measurement Division. In this state, the reticle R1 is irradiated with illumination-light IL in the main control unit 20. Like the above-mentioned, a slit scan method detects space image Measurement Division of pattern PM_1 for Measurement Division, and the best focus positions

of projection optical system PL using the space image measuring instrument 59, and the result is memorized to an internal memory.

[0133]With the main control unit 20, after detection of the best focus positions using pattern PM_1 for Measurement Division is completed, drive controlling of the movable reticle blind 12 is carried out, and an illuminated field is specified so that illumination-light IL may be irradiated by only the pattern PM_2 portion for Measurement Division. In this state, like the above, a slit scan method detects space image Measurement Division of pattern PM_2 for Measurement Division, and the best focus positions of projection optical system PL, and that result is memorized to an internal memory.

[0134]Henceforth, in the main control unit 20, changing an illuminated field, like the above, Measurement Division of a space image and detection of the best focus positions of projection optical system PL are repeated, and are performed about pattern PM_{3for}

Measurement Division $-PM_n$.

[0135]The image surface shape of projection optical system PL is computed each best-focus-positions Z_1 obtained by this, Z_2 , ..., by performing a predetermined statistical procedure based on Z_n .

[0136]Since it is a field which comprises a set of the best focal point in the countless point (namely, countless point that the so-called height of an image differs) that the distance from an optic axis differs, the image surface, i.e., best image formation face, of projection optical system PL, it can ask for image surface shape easily and correctly with such a technique.

[0137]The above can perform the detection of the best focus positions of A. projection optical system PL and the detection of the best image formation face (image surface) which were mentioned above.

[0138]Detection of the spherical aberration of projection optical system PL can be performed as follows.

[0139]That is, when detecting this spherical aberration, as shown in drawing 14, the reticle R2 for Measurement Division of the X axial direction in pattern space PA by which pattern PM of two prescribed distance ***** 1 for Measurement Division and PM2 were mostly formed in Y shaft orientations in the center is used, for example. Pattern PM1 for Measurement Division is the last shipment pattern of pattern PM for Measurement Division, and an identical size same synchronization mentioned above. Pattern PM2 for Measurement Division is the last shipment pattern located in a line with the X axial direction the cycle (for example, about 1.5 to 2 times of the cycle (mark pitch) of pattern PM1 for Measurement Division) from which the pattern for Measurement Division and the line pattern of an identical size differ.

[0140]First, the reticle R2 is loaded on the reticle stage RST by an unillustrated reticle loader. Next, in the main control unit 20, pattern PM1 for Measurement Division on the reticle R2 moves in the reticle stage RST so that it may be mostly in agreement on the optic axis of projection optical system PL. Next, with the main control unit 20, drive controlling of the movable reticle blind 12 is carried out, and an illuminated field is specified so that illumination-light IL may be irradiated by only pattern PM1 portion for Measurement Division. In this state, the reticle R2 is irradiated with illumination-light IL in the main control unit 20, Like the above-mentioned, a slit scan method detects space image Measurement Division of pattern PM1 for Measurement Division, and the best focus positions of projection optical system PL using the space image measuring instrument 59, and the result is memorized to an internal memory.

[0141]In the main control unit 20, an end of detection of the best focus positions using pattern PM1 for Measurement Division will carry out prescribed distance movement of the reticle stage RST in the direction of -Y so that illumination-light IL may be irradiated by pattern PM2 portion for Measurement Division. In this state, like the above, a slit scan method detects space image Measurement Division of pattern PM2 for Measurement Division, and the best focus positions of projection optical system PL, and that result is memorized to an internal memory.

[0142]Based on the difference of each best-focus-positions Z_1 and Z_2 which were obtained

by this, the spherical aberration of projection optical system PL is computed by an operation.

[0143] A spherical aberration is one of the aperture aberration of an optical system, and when a bundle of rays with various openings from the object point on an optic axis enters into an optical system, it is a phenomenon in which the corresponding image point does not carry out image formation to one point. Therefore, detection of the best focus positions in the optic axis of a projection optical system can be repeatedly performed about two or more last shipment patterns of a different pitch, and a spherical aberration can be easily searched for by an operation based on the difference of the best focus positions corresponding to each pattern. The accuracy of measurement of the difference of the best focus positions in this case needs to be about $3\sigma < 20\text{nm}$ practically.

[0144] <Detection of the image formation position of a pattern image> Detection of the image formation position of a pattern image is performed for each purpose of the magnification of C. projection optical system and distortion measurement, coma aberration measurement of D. projection optical system, and E. Lighting Sub-Division TERESSEN measurement.

[0145] The pattern for Measurement Division (mark used as the candidate for Measurement Division) varies with the purpose. If it classifies, it will become as it is shown in the next table 2. Since it is desirable for the measuring result of the imaging characteristic of a projection optical system based on space image Measurement Division to be fundamentally in agreement with the measuring result of the imaging characteristic by the burning method mentioned above here, the mark for space image Measurement Division (pattern for space image Measurement Division) is shown by Table 2 with the mark for baking Measurement Division.

[0146]

[Table 2]

目的	焼き付け測定用マーク	空間像計測用マーク
C投影レンズ倍率・ディストーション測定	Box in Box Mark、 大L/Sマーク	Box in Box Mark、 大L/Sマーク
D投影レンズコマ収差測定	Line in Box Mark、 L/Sマーク	Line in Box Mark、 L/Sマーク、大小L/Sマーク
E照明テレセン測定	Box in Box Mark、 大L/Sマーク	Box in Box Mark、 大L/Sマーク

[0147] Next, the magnification of projection optical system PL and distortion measurement are explained. The magnification of this projection optical system PL and distortion measurement are faced, For example, as shown in drawing 15, the reticle R3 for Measurement Division in which pattern BM_1 for Measurement Division which changes from the square marks of the 150-micrometer angle (it is a 30-micrometer angle on a wafer surface at the projecting magnification 1/5) of a total of five pieces to the central part of pattern space PA and the portion of four angles - BM_5 were formed is used. On the slit plate 90 which constitutes the space image measuring instrument 59 in this case, While the slit 22a of the prescribed width W and length L which are extended to an X axial direction as shown in drawing 16, and the slit 22b of the prescribed width W and length L which are extended to Y shaft orientations are formed, Suppose that light-receiving is also possible the light which penetrated any of the slits 22a and 22b with the internal light-receiving optical system and the photosensor 24 (or the photoconductive appearance part and light sensing portion of drawing 3) of the wafer stage WST. Here, W is 0.3 micrometer and L is 25 micrometers.

[0148] First, the reticle R3 is loaded on the reticle stage RST by an unillustrated reticle loader. Next, in the main control unit 20, the center of pattern BM_1 for Measurement Division which exists in the center of the reticle R3 moves in the reticle stage RST so that it may be mostly in agreement on the optic axis of projection optical system PL. Next, with the main control unit 20, drive controlling of the movable reticle blind 12 is carried out, and an illuminated field is specified so that only the rectangular area portion in which illumination-light IL is somewhat larger than pattern BM_1 for Measurement Division containing pattern BM_1 for Measurement Division may glare. In this state, the reticle R3 is irradiated with illumination-light IL in the main control unit 20. Thereby, as shown in drawing 16, the pattern

image of the shape of a square of space image BM_1 of pattern BM_1 for Measurement

Division, i.e., an about 30micro angle, is formed.

[0149]In this state, in the main control unit 20, space image Measurement Division of pattern PM_1 for Measurement Division is performed using the space image measuring instrument 59, scanning the wafer stage WST to an X axial direction, as shown to drawing 16 by the arrow A, and light intensity signal $m(x)$ obtained by that Measurement Division is memorized in a memory. Next, in the main control unit 20, it asks for the image formation position of pattern PM_1 for Measurement Division with the technique of publicly known phase detection based on obtained light intensity signal $m(x)$. The primary frequency component produced by carrying out the Fourier transform of light intensity signal $m(x)$ as the technique of this phase detection here, for example (this) a sine wave — it can regard — while asking for the sum for a product with the sine wave used as the same standard of frequency as this, for example, one cycle, it asks for the sum for a product with the cosine wave used as said primary frequency component, this, and the standard of a same synchronization, for example, one cycle. And the general method of searching for the phase contrast over the reference signal of a primary frequency component, and asking for X position x_1 of pattern PM_1 for

Measurement Division based on this phase contrast can be used by asking for the arc tangent (arc tangent) of the quotient produced by doing division of the obtained sums.

[0150]Next, in the main control unit 20, space image Measurement Division of pattern PM_1 for Measurement Division is performed using the space image measuring instrument 59, scanning the wafer stage WST to Y shaft orientations, and the light intensity signal $m(y)$ acquired by the Measurement Division is memorized in a memory. And it asks for Y position y_1 of pattern PM_1 for Measurement Division with the technique of the same phase detection as the above. And in the main control unit 20, the position gap to the optical axis center of the reticle R3 is amended based on the coordinate value (x_1, y_1) of obtained pattern PM_1 for Measurement Division.

[0151]With the main control unit 20, after amendment of a position gap of the above-mentioned reticle R3 is completed, drive controlling of the movable reticle blind 12 is carried out, and an illuminated field is specified so that only the rectangular area portion in which illumination-light IL is somewhat larger than pattern BM_2 for Measurement Division containing pattern BM_2 for Measurement Division may glare. In this state, like the above, a slit scan method performs space image Measurement Division of pattern BM_2 for Measurement Division, and Measurement Division of that XY position, and that result is memorized to an internal memory.

[0152]Henceforth, in the main control unit 20, changing an illuminated field, like the above, Measurement Division of a space image and Measurement Division of an XY position are repeated, and are performed about pattern BM_3 for Measurement Division — BM_5 .

[0153]Based on the coordinate value (x_2, y_2) of pattern BM_2 for Measurement Division obtained by this — BM_5 , (x_3, y_3) , (x_4, y_4) , and (x_5, y_5) , by performing a predetermined operation, At least the magnification of projection optical system PL and one side of distortion are computed.

[0154]Distortion is the aberration of projection optical system PL which becomes the image at which what should become a straight line essentially around in an image field turned, like the case where there is a magnification error by this distortion, a pattern image shifts from the position on the image surface, and image formation (carrying out a strike slip) is carried out.

[0155]Therefore, according to the instrumentation method of the magnification mentioned above and distortion, a position gap of the space image of each pattern for Measurement Division projected on a different position in the image field of projection optical system PL with the technique of phase detection. Since it can ask with respectively sufficient accuracy, either [at least] distortion or magnification is measurable with sufficient accuracy as a result.

[0156]However, in pattern image BM_n' ($n=1, 2, \dots, 5$) of a single 30-micrometer angle, even if it carries out a slit scan, there is only two edge of the image and measurement accuracy may not be acquired enough. (In such a case, the big last shipment pattern which is a grade which does not almost have being influenced by a coma aberration, for example, a last shipment pattern with a linewidth of not less than 5 micrometers, (this space image)) The pattern for Measurement Division (it is called " CM_1 - CM_5 " for convenience) which comprises becoming a last shipment pattern image with a linewidth of 1 micrometer should just use the reticle replaced with and formed in pattern $BM_{1\text{for Measurement Division}} - BM_5$. When performing space image Measurement Division using such reticle, the state where space image CM_n' ($n=1, 2, \dots, 5$) of the pattern $CM_{1\text{for Measurement Division}} - CM_5$ was formed on the slit plate 90 is shown in drawing 17.

[0157]In a top, with the technique of phase detection, although a position gap of the space image of the pattern for Measurement Division shall be measured, Space image Measurement Division of a slit scan method is repeatedly performed not only like this but like the above-mentioned about the space image (BM_n' or CM_n') of the pattern for Measurement Division (BM_n or CM_n) projected on a different position in the image field of projection optical system PL, two or more light intensity signal $m(x)$ (photoelectric conversion signal) obtained by the repetition -- the position (position of edge) of the space image (BM_n' or CM_n') corresponding to each photoelectric conversion signal being computed, respectively, and based on the intersection of each and predetermined slice level, It is good also as asking for at least the distortion of projection optical system PL, and one side of magnification based on this computed result. In this case, the position of the space image (BM_n' or CM_n') projected on a different position in the image field of projection optical system PL by the technique of edge detection in which the slice method was used can be searched for with respectively sufficient accuracy, Either [at least] distortion or magnification is measurable with sufficient accuracy as a result. In this case, each light intensity signal is binary-ized with the set-up slice level, and when setting out of that slice level is appropriate, it becomes equivalent to measuring the edge position of the resist image actually acquired by baking so that it can imagine, for example from the relation between waveform P2 of drawing 7, and P3.

[0158]By the way, in the present exposure device, management of the distortion (magnification is included) of a projection optical system is performed as follows using the standard wafer. After transferring the outer BOX mark of a 30-micrometer angle in the exposure region by a projection optical system with a standard wafer here, it etches through a developing process and the position of the edge of an outer BOX mark is beforehand measured with an interference-of-light-wave type coordinate measuring machine etc. after the etching. And the resist image of the inner BOX mark of a 10-micrometer angle is printed on the center of the outer BOX mark of the 30-micrometer angle etched at the time of distortion Measurement Division of an exposure device, and a relative position is measured with a registration measuring instrument etc.

[0159]Therefore, if distortion Measurement Division is performed by detecting the space image of the BOX mark of a 10-micrometer angle with the technique of edge detection on a wafer (on the image surface), it will become equivalent to the time of distortion Measurement Division of the above [the influence of a coma aberration] using a standard wafer, and a relative difference will not occur. For this reason, distortion can be measured now from a space image in accuracy (accuracy) equivalent to the distortion Measurement Division using the above-mentioned standard wafer.

[0160]In order to realize this, it is possible to form the inner BOX mark of a 50-micrometer angle (wafer top 10-micrometer angle) in the device reticle mentioned above or a reticle fiducial mark board. However, in the latest CMP process, since dishing arises, it is not put into the mark of a wafer top 10-micrometer angle.

[0161]Then, the artificer reached Conclusion that what is necessary is just to perform space image Measurement Division using the mark (it is hereafter called a "false BOX mark" suitably) which subdivided the non-measurement direction (it is not necessary to be 10

micrometers) of the BOX mark of a wafer top 10-micrometer angle in stripe shape, as a result of inquiring wholeheartedly. If a false BOX mark is a so-called kind of a last shipment pattern, the Reason scans a space image measuring instrument in the direction vertical to the period directions and a slit scan method performs space image Measurement Division. The signal wave form obtained is because the signal wave form obtained from the space image of a BOX mark and the same signal wave form are obtained.

[0162]An artificer replaces with pattern BM_1 for Measurement Division of the reticle R3 for Measurement Division shown in drawing 15 – BM_5 , Reticle R3' for Measurement Division in which the false box pattern which subdivided the pattern for Measurement Division in stripe shape about the direction of X was formed is used. As a result of performing distortion Measurement Division of projection optical system PL by the technique of edge detection in the same procedure as the above-mentioned, becoming a value equivalent to Y position of pattern BM_n for Measurement Division as a Y position of each pattern for Measurement Division was checked. The reticle for Measurement Division etc. in which the false box pattern subdivided about the direction of Y from this and the false box pattern subdivided about the direction of X were formed are prepared, Distortion Measurement Division can be performed by carrying out the relatively scan of each pattern for Measurement Division to the slits 22a and 22b.

[0163]An example of the mark block (300-micrometer angle) in which the false box pattern subdivided about the direction of Y mentioned above, the false box pattern subdivided about the direction of X, and the pattern for other Measurement Division were formed is shown in drawing 18. In this drawing 18, numerals MM1 and MM2, For example, it is a magnification Measurement Division pattern which comprises the 5micromL/S mark of five, numerals MM3 and MM4 are focal Measurement Division patterns which comprise the 1micromL/S mark of 29, for example, and numerals MM5 and MM6 are false box patterns which comprise the 2.5micromL/S mark of 11, for example. The mark block of this drawing 18 is formed in device reticle or a reticle fiducial mark board, for example. Below the 2.5micromL/S grade (wafer top 0.5micromL/S grade) of subdivision of a false box pattern is desirable, for example.

[0164]Next, the instrumentation method of the coma aberration of a projection optical system is explained. The 1st way Measurement Division of a coma aberration uses a last shipment mark as a pattern for Measurement Division, and the 2nd method of using a Line in Box mark as a pattern for Measurement Division are mentioned typically.

[0165](The 1st method) When measuring a coma aberration by the burning method, the method of using the line width abnormal value of the small last shipment mark image near a resolution limit is known. Here, a line width abnormal value is a value used as the index showing the unsymmetrical degree of the resist image formed by baking. For example, if it explains taking the case of the resist image of the 0.2micromL/S mark (designed value) shown in drawing 19, the line width abnormal value A will be defined like the following (4) types using the line width L1 of the line pattern of both ends, and L5.

[0166]

[Equation 3]

$$A = \frac{L1 - L5}{L1 + L5} \quad \dots(4)$$

[0167]A is performance where less than 3% is usually wished to a projection optical system (projection lens).

[0168]Also in space image Measurement Division, direct measuring of the line width abnormal value of such a last shipment pattern image can be carried out. In this case, although what is necessary is just to use the technique of edge detection by a slice method explained previously, It is desirable to determine the threshold as slice level by being in charge of determination of slice level, binary-izing a light intensity signal corresponding to a space image with a suitable threshold (threshold level), and performing an easy resist image simulation of bringing close to line width of a resist image.

[0169]Hereafter, an instrumentation method of a coma aberration by Measurement Division of this line width abnormal value is explained. As shown, for example in drawing 20, the reticle

R4 for Measurement Division by which pattern $DM_{1\text{for Measurement Division}} - DM_5$ were formed in a total of five places of the center of pattern space PA and a portion of four angles is used for Measurement Division of this coma aberration. As pattern $DM_{1\text{for Measurement Division}} - DM_5$, a last shipment pattern which has periodicity is used for an X axial direction of 50% of a duty ratio with a linewidth of 1 micrometer (it is 0.2 micrometer on a wafer surface).

Composition of the slit plate 90 which constitutes the space image measuring instrument 59 in this case, and the space image measuring instrument 59 has the same composition as the time of magnification and distortion Measurement Division mentioned above.

[0170]In this case, in the main control unit 20, in the same procedure as the time of magnification and distortion Measurement Division mentioned above, reticle alignment and space image Measurement Division are performed, and light intensity signal $m(x)$ corresponding to a space image (it is considered as $DM_2' - DM_5'$) of pattern $DM_{2\text{for}}$

Measurement Division $- DM_5$ is obtained.

[0171]And it asks for an intersection of each of this obtained light intensity signal $m(x)$ and predetermined slice level, respectively, It asks for a linewidth of each line about each of space image $DM_2' - DM_5'$ from an X coordinate of that called-for intersection, and based on this linewidth, each line width abnormal value is computed based on (4) types, and a coma aberration of projection optical system PL is searched for based on this computed result.

[0172]A coma aberration is the aberration of a lens by magnifications differing by various zona orbicularis of a lens, and is produced into a portion which is separated from a principal axis in an image field of projection optical system PL. Therefore, in a position which is separated from an optic axis, line width of each line pattern will differ among space images of a last shipment pattern according to a coma aberration. Therefore, according to the described method which detects a line width abnormal value of each line pattern with the technique of edge detection using a slice method, it becomes possible to measure a coma aberration often [accuracy] and easily.

[0173]Since each pattern $DM_{1\text{for Measurement Division}} - DM_5$ are the independent last shipment patterns containing five line patterns, when measurement accuracy of a line width abnormal value is insufficient, A compound mark pattern in which two or more five last shipment patterns constructed, and have been arranged with a given period as each pattern for Measurement Division may be used as each pattern for Measurement Division. When such a compound mark pattern is used as a pattern for Measurement Division (referred to as EM), signs that space image EM' of pattern EM for Measurement Division was formed on the slit plate 90 are shown in drawing 21.

[0174]This space image EM' is provided with the following.

The frequency component (the 1st fundamental frequency component) f_1 of the 0.4-micrometer pitch corresponding to [as shown in drawing 22] a pitch of each line pattern of two fundamental frequency components, i.e., a photoelectric conversion signal.
every -- the 2nd fundamental frequency component corresponding to width of the whole L/S pattern, i.e., here, -- every -- the frequency component f_2 corresponding to the 3.6-micrometer pitch which is a repeating cycle (disposing pitch of a mark group who consists of a mark of five) of a L/S pattern.

[0175]Therefore, like the above-mentioned in the main control unit 20. In the same procedure as the time of magnification and distortion Measurement Division mentioned above, reticle alignment, When space image Measurement Division is performed and light intensity signal $m(x)$ corresponding to a space image (it is considered as $EM_2' - EM_5'$) of pattern $EM_{2\text{for Measurement Division}} - EM_5$ is obtained, and the 1st fundamental frequency component of each light intensity signal, It is good also as computing with the technique of phase detection in which phase contrast with the 2nd fundamental frequency component was mentioned above, and searching for a coma aberration of projection optical system PL based on this computed result.

[0176]Since it is greatly influenced by a coma aberration so that width of a scanning

direction of a pattern which is the target of space image Measurement Division is narrow, Influence of a coma aberration on a space image of each line pattern of a last shipment pattern and influence of a coma aberration on a space image of the pattern at the time of putting the whole last shipment pattern at one pattern are different. Therefore, the 1st fundamental frequency component corresponding to a pitch of each line pattern of a photoelectric conversion signal, Phase contrast with the 2nd fundamental frequency component corresponding to width of the whole last shipment pattern is computed, and according to the described method which searches for a coma aberration of a projection optical system based on this computed result, a coma aberration of projection optical system PL can be searched for with sufficient accuracy with the technique of phase detection. As for a ratio of a disposing pitch (upper example 3.6 micrometers) of a mark group who consists of a disposing pitch (upper example 0.4 micrometer) of a mark, and a mark of five in this case, it is desirable from signal processing to consider it as an integral multiple. [0177](The 2nd method), next the 2nd measuring method of a coma aberration are explained. In this method, as shown in drawing 23 (A), the reticle R5 for Measurement Division by which pattern $FM_{1 \text{ for Measurement Division}} - FM_5$ were formed in a total of five places of a center in pattern space PA and a portion of four angles is used. A mark pattern called Line in Box Mark as shown in drawing 23 (B) by expanding as pattern $FM_{\text{for Measurement Division } n}$ ($n = 1, 2, \dots, 5$) is used. This mark pattern is a mark pattern in which one side is the same mind inside a square pattern of D1 (for example, D1=150micrometer), and a space pattern (width D3) of a square of D2 (for example, D2=100micrometer) was formed for one side, as shown in drawing 23 (B). If this pattern FM_n for Measurement Division is printed on a wafer and developed, a striation of a 20-micrometer angle will be simultaneously formed in the center of a resist remnants mark of a 30-micrometer angle. As for a striation, it is desirable to consider it as (wavelength / N.A.) / about [less than 2] thickness, therefore, as for D3, it is desirable to consider it as the about 5 or less times. For example, D3 shall be 0.5 micrometer.

[0178]Since a strike slip will be larger than a thick line and a direction of a small-gage wire will occur if image formation of this pattern FM_n for mark Measurement Division is carried out by a projection optical system with a coma aberration, a striation carries out eccentricity and symmetry collapses. Therefore, influence of a coma aberration can be known by measuring a grade of a way that eccentricity of the striation, i.e., symmetry, collapses.

[0179]Composition of the slit plate 90 which constitutes the space image measuring instrument 59 in this case, and the space image measuring instrument 59 has the same composition as the time of magnification and distortion Measurement Division mentioned above.

[0180]So, in the main control unit 20, in the same procedure as the time of magnification and distortion Measurement Division mentioned above, reticle alignment and space image Measurement Division are performed, and light intensity signal $m(x)$ corresponding to a space image (it is considered as $FM_2' - FM_5'$) of pattern $FM_{2 \text{ for Measurement Division}} - FM_5$ is obtained.

[0181]And based on an intersection of each light intensity signal and predetermined slice level, a gap of the symmetry of space image FM_2' of a pattern for Measurement Division - FM_5' is computed, and a coma aberration of projection optical system PL is searched for based on this computed result.

[0182]Thus, according to the described method which computes a gap of the symmetry of a space image of pattern $FM_{2 \text{ for Measurement Division}} - FM_5$, and searches for a coma aberration of projection optical system PL with the technique of edge detection using a slice method based on the computed result. A coma aberration of projection optical system PL can be searched for with sufficient accuracy.

[0183]It thinks, also when SURITSU ** of a non-measurement direction interferes with a space image on arrangement of the slits 22a and 22b on the slit plate 90 in the above-mentioned case. Replace with the above-mentioned mark FM_n for Measurement Division, and

In such a case, for example, a thick line pattern with a line width of about 50 micrometers, For example, a thin line pattern with a line width of about 0.5–0.75 micrometer may use a symmetrical one-dimensional mark located in a line with a measurement direction with a prescribed interval (for example, about 50 micrometers) as a pattern for Measurement Division.

[0184]The state where space image GM_n' of such a pattern for Measurement Division (it is considered as GM_n) was formed on the slit plate 90 is shown in drawing 24. In this drawing 24, D4 is 10 micrometers and D5 is 0.1–0.15 micrometer. A coma aberration of projection optical system PL may be detected by detecting by a method of edge detection by a slice method which mentioned above a light intensity signal corresponding to such space image GM_n' .

[0185]As a result of carrying out the position gap of the space image of a line pattern with thin width of a scanning direction (measurement direction) greatly under the influence of a coma aberration, like a pattern for Measurement Division (GM_n), As for a space image of a symmetrical mark pattern which has two or more kinds of line patterns in which line width arranged with a prescribed interval in the direction corresponding to a scanning direction differs, the symmetry shifts greatly, so that a coma aberration is large.

[0186]Therefore, according to a method of detecting a gap of the symmetry of above-mentioned space image GM_n' , a coma aberration of projection optical system PL is detectable with sufficient accuracy.

[0187]Of course, in order to improve the Measurement Division reproducibility also in this case, it is good also as detecting space image HM' of a pattern for Measurement Division like drawing 25 by which repetition arrangement was carried out.

[0188]Next, a measuring method of Lighting Sub-Division TERESSEN is explained.

[0189]An image position measures quantity which changes with defocusing, and Lighting Sub-Division TERESSEN is determined. As a pattern for Measurement Division, influence of a coma aberration is influenced and twisted like magnification and De Dis **—SHON measurement, and a big mark pattern is used. When it burns and is based on the ** method, Boxin Box Mark or a large last shipment mark is used, and they are three points, best focus positions, a defocusing position which is about +1 micrometer, and a defocusing position which is about −1micrometer, It exposes, respectively, relation between an image position and a focusing position is measured, and calculating Lighting Sub-Division TERESSEN (= (the amount of strike slips / defocusing amount of an image)) is performed.

[0190]Influence of a coma aberration is influenced and twisted like baking, using a big mark, in space image Measurement Division, an absolute position of a space image is measured in each focusing position, and it calculates Lighting Sub-Division TERESSEN.

[0191]As explained to details above, according to the exposure device 100 of a 1st embodiment. From having the space image measuring instrument 59 which has slit width $2D=n-(\lambda/N.A.)$ and the slit plate 90 which is $n \leq 0.8$. By performing space image Measurement Division of a pattern for Measurement Division on reticle or a reticle fiducial mark board using this space image measuring instrument, little highly precise space image Measurement Division of degradation of an image profile is attained in the case of conversion of a space image → space image strength signal. In this case, the big dynamic range becomes unnecessary at a signal-processing system after the photosensor 24 (optoelectric transducer).

[0192]In the exposure device 100, the main control unit 20 can measure Measurement Division of a space image by the above-mentioned slit scan method, and various imaging characteristics of projection optical system PL using this measuring result which was mentioned above with high precision using the space image measuring instrument 59. Therefore, it can be based on a measuring result of this imaging characteristic, for example, optical performance of projection optical system PL can be adjusted with high precision at the time of starting of an exposure device in a factory, etc. Or especially about distortion or magnification. Perform above-mentioned Measurement Division periodically and based on this measuring result An imaging characteristic compensator which is not illustrated [of projection optical system PL]. for example, Z and a tilt drive carry out a specific lens

element which constitutes a projection optical system, [device and] Or distortion, magnification (especially non-scanning direction at the time of scanning exposure), etc. can be amended using a device etc. which adjust internal pressure of a sealed cabin provided between specific lenses which constitute a projection optical system. Amendment of magnification of a scanning direction at the time of scanning exposure is performed by adjusting at least one [reticle at the time of scanning exposure, and] scan speed of a wafer, for example.

[0193] Thus, in the exposure device 100, since exposure is performed, for example using projection optical system PL to which an imaging characteristic was adjusted with high precision by adjustment of the imaging characteristic of a projection optical system in advance of initial adjustment of the imaging characteristic of a projection optical system, or an exposure start, improvement in exposure precision is attained as a result.

[0194] Since detection of the amount of baselines of alignment microscope ALG1 as a mark detection system is performed with sufficient accuracy by the main control unit 20 in the exposure device 100 using the space image measuring instrument 59, By controlling a position of the wafer W using that amount of baselines at the time of exposure, etc., improvement in superposition accuracy of reticle and a wafer is possible, and improvement in exposure precision is possible also in this point.

[0195] Although slit width 2D explained a case where it was determined in consideration of both the wavelength λ of illumination light, and numerical aperture N.A. of projection optical system PL, by the above-mentioned embodiment, this invention is not limited to this.

[0196] That is, slit width 2D may be defined only in consideration of numerical aperture either one of the wavelength λ or N.A. Even if it uses a space image measuring instrument provided with a slit plate which has a slit of such slit width 2D, Measurement Division with high accuracy of a space image (distribution of image strength) of a prescribed pattern is possible by a slit scan method like the above-mentioned embodiment.

[0197] Next, determination of slit width (2D) is explained further. Here, a case of focal Measurement Division is taken up as an example, and a deciding method of suitable slit width is explained.

[0198] Like the above-mentioned, Measurement Division of best focus positions of a projection optical system, Space image Measurement Division of a pattern for Measurement Division with a slit scan method, changing a position of Z shaft orientations (optical axis direction) of the slit plate 90 A multiple-times repetition, It asks by detecting Z position (Z coordinate of a contrast peak) of the slit plate 90 with which contrast which is a (primary/zero-order) gain of a light intensity signal acquired by this serves as the maximum.

[0199] Usually, when detecting a best focus, it is 0.15 micrometer in pitch interval, and 15-step (step) grade change of the slit plate 90 is carried out.

[0200] Here, an example of the above-mentioned best focus detection is explained using drawing 26. This drawing 26 shows a horizontal axis for a measurement value (x seal in drawing 26) of contrast of 13 points which changed the slit plate 90 to Z shaft orientations in 13 steps (step), and was acquired on each point as the Z-axis. Based on a measurement value of contrast of 13 points shown by x seal in drawing 26, it asks for the 4th about approximated curve C with the least square method. It asks for an intersection of this approximated curve C and suitable threshold (threshold level) SL, and let the middle point of distance =2B between intersections be a Z coordinate value corresponding to ** SUTOFOKASU.

[0201] The same diagram as drawing 26 is shown in drawing 27. However, by this drawing 27, a vertical axis shows amplitude (or first order mentioned later) of a primary ingredient. Focal detecting accuracy when the range of WZ (= step pitch x data number) in drawing 27 is made immobilization here is considered.

[0202] (1) If amplitude of a primary ingredient is set to S when a shot noise is dominant, a shot noise is proportional to $S^{1/2}$. Since average inclination of a curve about Z of amplitude of a primary frequency component (it is hereafter sketched as a "primary ingredient" suitably) is in inverse proportion to the depth of focus (DOF), If a noise of amplitude of an each primary ingredient makes the noise N fluctuation done to a Z direction of data, it will be $N \cdot S^{1/2}$ and $DOF \cdot \lambda - S^{1/2} / (N.A.)^2 \dots$ (5)

There is *****. Here, N.A. is a numerical aperture of a projection optical system.

[0203]However, since there is relation between $P \cdot \lambda / \text{N.A.}$ when line width of an object pattern is set to P, it is $S/N \cdot (\text{N.A.})^2 - S^{1/2} / \lambda - S^{1/2} / P \dots$ (6)

***** is realized. Here, S/N is a S/N ratio which is a ratio of amplitude of a primary ingredient, and noise amplitude.

[0204](2) When a dark noise is dominant, a dark noise is not dependent on the amplitude S of a primary ingredient. Average inclination of a curve about Z of amplitude of a primary ingredient will be $N \cdot \text{DOF} \cdot \lambda / (\text{N.A.})^2$, if a noise of amplitude of an each primary ingredient makes the noise N fluctuation done to a Z direction of data, since it is in inverse proportion to DOF.... (7)

There is *****.

[0205]Therefore, line width of an object pattern is set to P, and they are $S/N \cdot (\text{NA})^2$ and $S/\lambda - S/P \dots$ (8)

There is *****.

[0206]It turns out that what is necessary is just to pay its attention to the amplitude S of a primary ingredient, and a S/N ratio is proportional to the 0.5 to 1st power of the primary amplitude S with character of a noise if wavelength and an object-pattern pitch are determined when making slit width (2D) the more nearly optimal than (6) and (8) types.

[0207]An example of a simulation result for searching for a range with preferred slit width (2D) is shown in drawing 28 (A) - drawing 31 (B). Among these, drawing 28 (A), drawing 29 (A), drawing 30 (A), and drawing 31 (A) show a case of conditions of $\text{N.A.}=0.68$, $\lambda=248$ nm, and $\sigma=0.85$. Drawing 28 (B), drawing 29 (B), drawing 30 (B), and drawing 31 (B) show a case of conditions of $\text{N.A.}=0.85$, $\lambda=193$ nm, and $\sigma=0.85$.

[0208]Drawing 28 (A) and (B) shows a S/N ratio about focal detection at the time of applying (6) types supposing an example which used a photomultiplier. In drawing 28 (A), as a pattern for Measurement Division, linewidth L is 200 nm, 220 nm, and 250 nm, respectively, and solid line (-), dashed line (**), and dotted-line (.) shows a case where each duty ratio uses 50% of last shipment pattern, respectively. In drawing 28 (B), as a pattern for Measurement Division, linewidth L is 120 nm, 130 nm, and 140 nm, respectively, and solid line (-), dashed line (**), and dotted-line (.) shows a case where each duty ratio uses 50% of last shipment pattern, respectively.

[0209]Drawing 29 (A) and (B) shows contrast respectively corresponding to drawing 28 (A) and (B). Contrast becomes so large that slit width is small. Since zero-order amplitude is proportional to slit width, it is the first order (1st Order) which multiplied contrast by a ratio of slit width on the basis of 0.3 micrometer. This is proportional to amplitude of a primary ingredient.

[0210]A first order respectively corresponding to drawing 28 (A) and (B) is shown in drawing 30 (A) and (B).

[0211]Also in the case of which wavelength and line width, it became clear from drawing 28 (A) and (B) that the same length as a half of a pattern pitch ($=2L$) of the optimal SURITSU ** width (2D) for focal detection was the optimal as a result. It is indispensable that small about a pitch it is less than a resolution limit, of course although it is moderate. Therefore, an optimum value of slit width serves as a half grade of a resolution limit pitch of an exposure device.

[0212]Drawing 31 (A) and (B) is the same conditions as drawing 28 (A) and (B), and shows a S/N ratio about focal detection at the time of applying (8) types.

[0213]Here, optimization of slit width 2D is explained from another viewpoint.

[0214]When width 2D of a slit of a space image measuring instrument and intensity distribution of a space image are made into $i(x)$, slit transmission intensity $m(x)$ is expressed with the following (9) types accepted [(1) type mentioned above].

[0215]

[Equation 4]

$$m(x) = \int_{x-D}^{x+D} i(t) dt \quad \dots(9)$$

[0216] Focal detection is calculated from zero-order [of the intensity image of last shipment of a resolution limit], and the primary ratio (contrast). About the intensity of the zero-order ingredient contained in the intensity image of a space image, if intensity of a and a primary ingredient is made into $b \cdot \sin(\omega_1 x)$, slit transmission intensity $m_0(x)$ and $m_1(x)$ which are observed will become like the following (10) and (11) types. However, ω_1 is the spatial frequency of a resolution limit.

[0217]

[Equation 5]

$$m_0(x) = a \int_{x-D}^{x+D} dt = 2aD \quad \dots(10)$$

[0218]

[Equation 6]

$$m_1(x) = b \int_{x-D}^{x+D} \sin(\omega_1 t) dt = \frac{2b}{\omega_1} \sin(\omega_1 x) \cdot \sin(\omega_1 D) \quad \dots(11)$$

[0219] (10) More simply [a zero-order ingredient / slit width] than a formula, proportionally, from (11) types, a primary ingredient becomes the maximum, when satisfying the conditions of the following (12) types.

[0220]

$$\omega_1 D = \pi/2 - (2n-1) \dots (12)$$

(However, $n=1, 2$ and $3, \dots$)

[0221] (12) When satisfying a formula, the gain of a primary ingredient by that used as the maximum (contrast serves as the maximum) at the time of the odd time of $D = \pi/(2\omega_1)$.

When slit width $2D$ will be odd times the π/ω_1 , it is desirable that it is odd times the half (it is hereafter called the "minimum half pitch" suitably) of the minimum mark pitch.

[0222] Since the dynamic range of an electric system becomes easy so that the gain of a primary ingredient is high and the gain of a zero-order ingredient is low, the case where it is in agreement with the minimum half pitch by (12) formulas after all in the case of $n=1$ (i.e., when slit width $2D$ is π/ω_1) if it puts in another way is best.

[0223] When slit width $2D$ is 1 time the minimum half pitch, simulation data at a time of being 3 times is shown in drawing 32 (A) and (B), respectively. In these figures, curvilinear LL1 of a solid line shows a strength signal of the slit transmitted light, dashed dotted line LL2 shows the differential signal, and dashed line LL3 shows space image intensity. In these figures, a horizontal axis is a slit position and a vertical axis is signal strength.

[0224] When slit width $2D$ is 5 times the minimum half pitch, simulation data at a time of being 7 times is shown in drawing 33 (A) and (B), respectively. In these figures, curvilinear LL1 of a solid line shows a strength signal of the slit transmitted light, dashed dotted line LL2 shows the differential signal, and dashed line LL3 shows space image intensity. In these figures, a horizontal axis is a slit position and a vertical axis is signal strength.

[0225] It turns out that amplitude of differential signal LL1 is the same amplitude in drawing 32 (A), (B), and drawing 33 (A) and (B). However, it turns out that a big dynamic range is needed according to a signal-processing system (processor after a photosensor) as n of slit width $2D = \text{minimum half pitch} \times n$ becomes large with 1, 3, 5, and 7. This shows that a case where slit width $2D$ is in agreement with the minimum half pitch is best.

[0226] If the Fourier transform of (1) and (2) types which were mentioned above is carried out, the frequency characteristic of the equalization effect by a slit will become clear.

[0227]

[Equation 7]

$$p(u) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \cdot \exp(-2\pi i u x) dx = 2D \frac{\sin(2\pi u D)}{2\pi u D} = 2D \frac{\sin(\omega D)}{\omega D} \quad \dots(13)$$

[0228] Spatial frequency of a resolution limit is made into ω_1 , and a frequency

characteristic in case slit width 2D is 1 of half pitch of a resolution limit and 3 or 5 times is shown in drawing 34. In this drawing 34, numerals GF5, GF3, and GF1 show a frequency characteristic diagram in a case of being 5 times of the minimum half pitch, 3 times, and 1 time the slit width of this, respectively. It turns out that a case (GF1) where slit width is in agreement with the minimum half pitch is best also in respect of the stability of a gain (profit) so that clearly from this drawing 34.

[0229]<<A 2nd embodiment>> Next, a 2nd embodiment of this invention is described based on drawing 35 and drawing 36. Here, about component part the same as that of the exposure device 100 concerning a 1st embodiment mentioned above, or equivalent, while using the same numerals, the explanation shall be simplified or it shall omit.

[0230]A part of composition of an exposure device concerning this 2nd embodiment is omitted and shown in drawing 35. Only composition of alignment optical system ALG2 as a mark detection system is [this exposure device 110] different from the exposure device 100. Then, this point of difference is explained as a center below.

[0231]This alignment optical system ALG2 is a laser scan type alignment sensor of an off-axis method formed in the side of projection optical system PL, as shown in drawing 35.

[0232]This alignment optical system ALG2 is constituted including the light source 132 for alignment, the half mirror 134, the 1st object lens 136, the 2nd object lens 138, and silicon photo diode (SPD) 140 grade, as shown in drawing 35. Here, helium neon laser is used as the light source 132. In this alignment microscope ALG2, as shown in drawing 35, laser beam spot for a laser beam to illuminate the alignment mark Mw on the wafer W via the half mirror 134 and the 1st object lens 136 from the light source 132 is formed. It is usually being fixed and a laser beam carries out the relatively scan of a laser beam and the alignment mark Mw by scanning the wafer stage WST (scan).

[0233]The scattered light generated from the alignment mark Mw is condensed and received on silicon photo diode SPD140 via the 1st object lens 136, the half mirror 134, and the 2nd object lens 138. A zero order light filter is inserted in microscope ALG2, it has become a dark field, and the scattered light is detected only in a position in which the alignment mark Mw exists. And a photoelectric conversion signal of light which SPD140 received is supplied to the main control unit 20 from SPD140. In the main control unit 20, a coordinates position of the ally man ** mark Mw in a stage coordinate system specified with an interferometer optic axis is computed based on this photoelectric conversion signal and position information on the wafer stage WST which is an output of the wafer interferometer 31 at that time.

[0234]The stability of a gain of the stability of the current beam position of laser, the stability of an interferometer and SPD – an electric system determines the stability of such a baseline of a stage scan type laser scan type alignment sensor.

[0235]Here, Measurement Division of a baseline of this alignment microscope ALG2 is explained. As a premise, the reticle R shall be carried on the reticle stage RST.

[0236]First, in the main control unit 20, a projection image of reticle-alignment-marks PM formed on the reticle R is measured like the above-mentioned using the space image measuring instrument 59, and it asks for a projecting position of a reticle pattern image. That is, reticle alignment is performed.

[0237]Next, as it moves in the wafer stage WST and is shown in drawing 36 with the main control unit 20, The slit 22 of the space image measuring instrument 59 is scanned to laser beam spot, a measurement value of the wafer interferometer 31 is incorporated simultaneously with a strength signal of the transmitted light of a laser beam, a laser beam profile is obtained, and a position of the beam spot is searched for based on it. This asks for a relative position of baselines of a projecting position of a pattern image of the reticle R, and a laser spot irradiation position of alignment optical system ALG2, i.e., the amount of alignment microscope ALG2.

[0238]According to the exposure device 110 concerning a 2nd embodiment described above, an effect equivalent to the exposure device 100 of a 1st embodiment mentioned above can be acquired. Although the amount of baselines of alignment microscope ALG2 is detected also in this case using the space image measuring instrument 59 by the main control unit 20, Since a projecting position of a reticle pattern image and a position of alignment microscope ALG2 are directly measurable with the space image measuring instrument 59 in detection of

this amount of baselines, Measurement Division of the high-precision amount of baselines is possible.

[0239]Arrangement of a slit on the slit plate 90 of the space image measuring instrument 59, Slits [which are extended, respectively / 22c and 22d] **** may be added not only in what was mentioned above but in the direction which, in addition, accomplishes 45 degrees and 135 degrees to the X-axis for the slits 22a and 22b mentioned above to construct as shown, for example in drawing 37 (A). Of course, slit width 2D of a direction vertical to a these slits [22c and 22d] longitudinal direction is provided in same size by the same standard as the slits 22a and 22b.

[0240]In this case, by scanning the slit 22d to space image PM' shown, for example in drawing 37 (A), scanning the space image measuring instrument 59 (wafer stage WST) in the direction of arrow C, as shown in drawing 37 (A), A light intensity signal corresponding to the space image is detectable with sufficient accuracy. A light intensity signal corresponding to the space image is detectable with sufficient accuracy by scanning the slit 22c to space image PM' shown, for example in drawing 37 (B), scanning the space image measuring instrument 59 (wafer stage WST) in the direction of arrow D, as shown in drawing 37 (B).

[0241]Since a slit of these each class detaches to some extent and is arranged, when providing 2 sets of above-mentioned slits (22a, 22b), and (22c, 22d) on the slit plate 90, As a light-receiving optical system inside wafer stage WST, and composition of a photosensor, composition which can choose a slit of each class according to an optical or electric optional feature may be adopted. With a shutter, an optical path may combine a switchable light-receiving optical system and a single optoelectric transducer, and, specifically, a light-receiving optical system and an optoelectric transducer may be provided to a slit of each class, respectively.

[0242]Next, image recovery is explained.

[0243]The Fourier transform of $p(x)$ proves what kind of spectrum it is in [equalization by a slit scan] spatial frequency from (1) and (2) types which were mentioned above. Generally this is called the instrumental function $P(u)$. An instrumental function is shown by (13) types mentioned above.

[0244](13) Filter $P_{inv}(u)$ of the inverse characteristic of the frequency characteristic of a formula is shown by the following (14) types, and image recovery will be performed, if inverse Fourier transform is performed after taking advantaging of a Fourier spectrum of strength signal $m(x)$ of a space image which has this observed.

$P_{inv}(u) = 1/P(u)$ -- (14)

Since maximums of an optical transfer function (OTF) of incoherent image formation are $2N.A./\lambda$, it is necessary to fill the following (15) types for perfect image recovery.

[0245]

[Equation 8]

$$D < \frac{\lambda}{4N.A.} \quad \dots(15)$$

[0246]If the technique of the above image recovery is used, the image profile of a very thin isolated line is also recoverable. The isolated line containing various frequency components, measuring the space image of an isolated line in two or more focuses, and measuring the wavefront aberration of a lens using these is also considered.

[0247]Measuring the wavefront aberration of the discrete frequency component of a lens is also considered by carrying out image recovery of the last shipment mark which is a repeated pattern.

[0248]It is desirable to use for the space image Measurement Division for measurement of these wavefront aberrations the space image measuring instrument 59 which can measure the space image about four directions shown, for example in drawing 37 (A).

[0249]Although each above-mentioned embodiment explained a case where this invention was applied to a projection aligner of a step and scanning method, While transferring a pattern of a mask to a substrate in the state where not only this but a mask and a substrate were stood still, this invention is applicable also to a step-and-repeat type exposure device to which step moving of the substrate is carried out one by one.

[0250]Although each above-mentioned embodiment explained a case where this invention was applied to an exposure device for semiconductor manufacture, This invention is widely applicable to not only this but an exposure device for liquid crystals which transfer a liquid crystal display element pattern to a square-shaped glass plate, for example, an exposure device for manufacturing a thin film magnetic head, etc.

[0251]Although each above-mentioned embodiment explained a case where KrF excimer laser light (248 nm), ArF excimer laser light (193 nm), etc. were used as illumination light for exposure, Harmonics of not only this but g line (436 nm), i line (365 nm), an F₂ laser beam (157 nm), copper steam laser, and an YAG laser, etc. can be used as illumination light for exposure.

[0252]Although each above-mentioned embodiment explained a case where a reduction system was used as a projection optical system, actual size or an expansion system may be used not only as this but as a projection optical system.

[0253]When using a linear motor (refer to the gazette of US,5,623,853,B or US,5,528,118,B) for a wafer stage or a reticle stage, Magnetic levitation type whichever using an exhaust air surfacing type using exhaust air ** ARINGU and a Lorentz force, or reactance power may be used.

[0254]TAIBU which moves along with a guide may be sufficient as a stage, and a guide loess type which does not provide a guide may be sufficient as it.

[0255]Reaction force generated by movement of a wafer stage may be mechanically missed to the floor (ground) using a frame member as indicated to JP,H8-166475,A (United States patent 5th, 528, 118 No.).

[0256]Reaction force generated by movement of a reticle stage may be mechanically missed to the floor (ground) using a frame member as indicated to JP,H8-330224,A (U.S. patent application serial number No. 416558).

[0257]While including an illumination-light study system and a projection optical system which comprise two or more lenses in a main part of an exposure device and carrying out optical adjustment, An exposure device of this embodiment can be manufactured by attaching to a main part of an exposure device a reticle stage and a wafer stage which consist of many machine parts, and connecting wiring and piping, and also carrying out comprehensive adjustments (electric adjustment, operation confirming, etc.). As for manufacture of an exposure device, it is desirable to carry out in a clean room where temperature, an air cleanliness class, etc. were managed.

[0258]A step to which a semiconductor device performs a function and a performance design of a device, a step which manufactures reticle based on this design step, It is manufactured through a step which manufactures a wafer, a step which transfers a pattern of reticle to a wafer with an exposure device of an embodiment mentioned above, a device assembly step (a dicing process, a bonding process, and a package process are included), an inspection step, etc. from a silicon material.

[0259]

[Effect of the Invention]As explained above, according to the space image instrumentation method and space image metering device concerning this invention, it is effective in a space image being measurable in sufficient accuracy.

[0260]According to the imaging characteristic instrumentation method concerning this invention, there is an outstanding effect which is not in the former that the imaging characteristic of a projection optical system is measurable with sufficient accuracy.

[0261]According to the exposure device concerning this invention, it is effective in the ability to aim at improvement in exposure precision.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]It is a figure showing the rough composition of the exposure device 100 concerning a 1st embodiment.

[Drawing 2]It is a figure showing the internal configuration of the alignment microscope of drawing 1, and a space image measuring instrument.

[Drawing 3]It is a figure showing the modification of the space image measuring instrument which has arranged the photosensor to the exterior of a wafer stage.

[Drawing 4]It is a figure showing signs that the alignment microscope has detected the alignment mark on a wafer.

[Drawing 5]It is a figure showing the state where the alignment microscope has detected the slit of a space image measuring instrument, when measuring the baseline of an alignment microscope.

[Drawing 6]The top view in which drawing 6 (A) shows the space image measuring instrument in the state where space image PM' was formed on the slit plate when measuring a space image, and drawing 6 (B) are the diagrams showing an example of the photoelectric conversion signal (light intensity signal) P acquired in the case of the space image Measurement Division.

[Drawing 7]It is a diagram showing the result of the image formation simulation corresponding to the case where the space image of the last shipment mark of the linewidth of 0.2 micrometer and 50% of a duty ratio is measured, and is a diagram showing the simulation result in the Beth ** focusing position.

[Drawing 8]It is a diagram showing the spatial frequency component at the time of carrying out the Fourier transform of the strength signal P3 of drawing 7 with the original strength signal P3.

[Drawing 9]It is a diagram showing the simulation result at the time of defocusing 0.2 micrometer from best focus positions.

[Drawing 10]It is a diagram showing the spatial frequency component at the time of carrying out the Fourier transform of the strength signal P3 of drawing 9 with the original strength signal P3.

[Drawing 11]It is a diagram showing the simulation result at the time of defocusing 0.3 micrometer from best focus positions.

[Drawing 12]It is a diagram showing the spatial frequency component at the time of carrying out the Fourier transform of the strength signal P3 of drawing 11 with the original strength signal P3.

[Drawing 13]It is a top view showing an example of the reticle for Measurement Division used when detecting image surface shape.

[Drawing 14]It is a top view showing an example of the reticle for Measurement Division used when detecting a spherical aberration.

[Drawing 15]It is a top view showing an example of the reticle for Measurement Division used on the occasion of magnification and distortion measurement.

[Drawing 16]It is a top view showing the space image measuring instrument 59 used on the occasion of magnification and distortion measurement.

[Drawing 17]When performing space image Measurement Division using the reticle in which

the pattern for Measurement Division which comprises a big last shipment pattern was formed, it is a top view showing the space image measuring instrument in the state where space image CM_n' of the pattern for Measurement Division was formed on the slit plate.

[Drawing 18] It is a figure showing an example of the mark block in which the pattern for a false box pattern and other Measurement Division was formed.

[Drawing 19] It is a figure for explaining the 1st instrumentation method of a coma aberration, and is a figure showing an example of a resist image.

[Drawing 20] It is a top view showing an example of the reticle for Measurement Division used for the 1st instrumentation method of a coma aberration.

[Drawing 21] When the compound mark pattern in which two or more five last shipment patterns constructed, and have been arranged with the given period is used as each pattern for Measurement Division, it is a top view showing a space image measuring instrument when the space image EM' is formed on a slit plate.

[Drawing 22] Space image EM' shown in drawing 21 is a figure for explaining having two fundamental frequency components.

[Drawing 23] They are a top view showing an example of the reticle for Measurement Division by which drawing 23 (A) is used for the 2nd instrumentation method of a coma aberration, and a figure which drawing 23 (B) expands each pattern for Measurement Division of drawing 23 (A), and is shown.

[Drawing 24] It is a top view showing a space image measuring instrument when space image GM_n' of the pattern for Measurement Division which comprises the symmetrical one-dimensional mark with which the line pattern with thick line width and the line pattern with thin line width were located in a line with the measurement direction with the prescribed interval is formed on a slit plate.

[Drawing 25] It is a top view showing a space image measuring instrument when space image HM' of the pattern for Measurement Division in which the one-dimensional mark in the case of drawing 24 has been arranged repeatedly is formed on a slit plate.

[Drawing 26] It is a figure showing a horizontal axis for the measurement value (x seal) of the contrast of 13 points which changed the slit plate to Z shaft orientations in 13 steps (step), and was acquired on each point as the Z-axis.

[Drawing 27] It is a figure showing a horizontal axis for the value (x seal) of the amplitude of the primary ingredient of 13 points which changed the slit plate to Z shaft orientations in 13 steps (step), and was obtained on each point as the Z-axis.

[Drawing 28] Drawing 28 (A) and (B) is a graph which shows the S/N ratio about the focal detection at the time of applying (6) types under a predetermined condition supposing the example which used the photomultiplier, respectively.

[Drawing 29] Drawing 29 (A) and (B) is a graph which shows the contrast respectively corresponding to drawing 28 (A) and (B).

[Drawing 30] Drawing 30 (A) and (B) is a graph which shows the first order respectively corresponding to drawing 28 (A) and (B).

[Drawing 31] Drawing 31 (A) and (B) is the same conditions as drawing 28 (A) and (B), and is graphs which show the S/N ratio about the focal detection at the time of applying (8) types.

[Drawing 32] Drawing 32 (A) and (B) is a figure showing the simulation data of the strength signal of the slit transmitted light at the time of being 3 times, its differential signal, and space image intensity, respectively, when slit width is 1 time the minimum half pitch.

[Drawing 33] Drawing 33 (A) and (B) is a figure showing the simulation data of the strength signal of the slit transmitted light at the time of being 7 times, its differential signal, and space image intensity, respectively, when slit width is 5 times the minimum half pitch.

[Drawing 34] It is a figure showing the frequency characteristic at the time of being 1 of the half pitch of a resolution limit, and 3 or 5 times the slit width of this.

[Drawing 35] It is a figure omitting and showing a part of composition of the exposure device concerning a 2nd embodiment.

[Drawing 36] In the exposure device of a 2nd embodiment, it is a figure showing a state when measuring the position of laser beam spot using a space image measuring instrument on the occasion of the base line measurement of alignment microscope ALG2.

[Drawing 37] It is a figure for explaining other examples of arrangement of the slit on the slit plate of a space image measuring instrument, and the directions for the space image measuring instrument with which such a slit was formed (drawing 37 (A), (B)).

[Drawing 38] It is a figure for explaining the conventional space image instrumentation method (drawing 38 (A) - (C)).

[Description of Notations]

10 — an illumination system (some of lighting systems and space image metering devices) and 20 — a main control unit (a control device.) Some of processing units, space image metering devices, and 22a-22d — Slit (some space image metering devices), 24 — A photosensor (some of optoelectric transducers and space image metering devices), 90 — Slit plate (some space image metering devices), 100 [— Reticle (mask) W / — A wafer (substrate), WST / — A wafer stage (substrate stage), ALG1, ALG2 / — Alignment microscope (mark detection system).] — An exposure device, PL — A projection optical system, IL — The illumination light, R

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-14005

(P2002-14005A)

(43)公開日 平成14年1月18日(2002.1.18)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 1 M 11/02		G 0 1 M 11/02	A 2 F 0 6 5
			B 2 G 0 8 6
G 0 1 B 11/00		G 0 1 B 11/00	C 5 F 0 4 6
			B
			Z

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 36 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-216868(P2000-216868)
(22)出願日 平成12年7月18日(2000.7.18)
(31)優先権主張番号 特願2000-123553(P2000-123553)
(32)優先日 平成12年4月25日(2000.4.25)
(33)優先権主張国 日本(J P)

(71)出願人 000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(72)発明者 萩原 恒幸
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内
(74)代理人 100102901
弁理士 立石 篤司

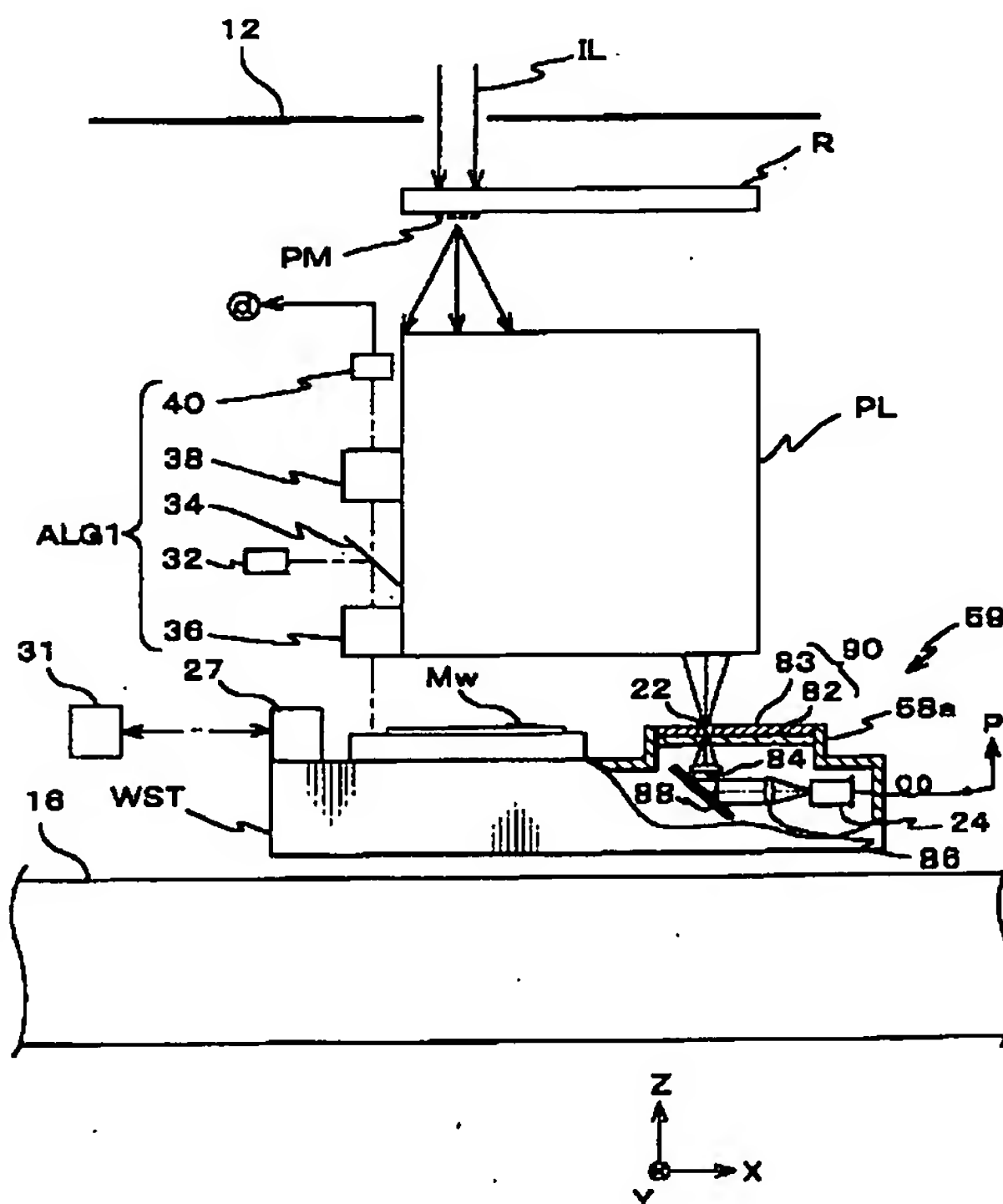
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 空間像計測方法、結像特性計測方法、空間像計測装置及び露光装置

(57)【要約】

【課題】 十分な精度で空間像を計測することを可能にする。

【解決手段】 空間像計測器59のスリット板90には、計測方向(X軸方向)の幅が(波長 λ /投影光学系の開口数N. A.)以下でY軸方向に伸びるスリット22が形成されている。このため、照明光ILによって所定のパターンPMが照明され、該パターンの空間像が投影光学系PLを介して像面上に形成された状態で、上記空間像に対してスリット板90がX軸方向に走査されると、その走査中にスリット22を透過した光が光電変換素子24で光電変換され、その光電変換信号(空間像の光強度に対応する信号)が出力される。そして、この光電変換信号に基づいて制御装置により空間像に対応する光強度分布が計測される。この場合、スリット22の幅が(λ /N. A.)以下とされているため、実用上十分な、高い精度で空間像を計測することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 投影光学系によって形成される所定のパターンの空間像を計測する空間像計測方法であって、照明光によって前記パターンを照明し、該パターンの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成する工程と；前記投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延びるとともに、これに垂直な前記2次元平面内の第2方向の幅が前記照明光の波長 λ を考慮して定められた少なくとも1つのスリットを有するスリット板を前記像面近傍の前記2次元平面内で前記第2方向に走査するとともに、前記スリットを透過した前記照明光を光電変換して前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を得る工程と；を含む空間像計測方法。

【請求項2】 投影光学系によって形成される所定のパターンの空間像を計測する空間像計測方法であって、照明光によって前記パターンを照明し、該パターンの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成する工程と；前記投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延びるとともに、これに垂直な前記2次元平面内の第2方向の幅が前記投影光学系の開口数 $N.A.$ を考慮して定められた少なくとも1つのスリットを有するスリット板を前記像面近傍の前記2次元平面内で前記第2方向に走査するとともに、前記スリットを透過した前記照明光を光電変換して前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を得る工程と；を含む空間像計測方法。

【請求項3】 前記スリットの前記第2方向の幅は、零より大きく前記照明光の波長 λ を前記投影光学系の開口数 $N.A.$ で除した $(\lambda/N.A.)$ 以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載の空間像計測方法。

【請求項4】 前記スリットの前記第2方向の幅は、前記 $(\lambda/N.A.)$ の0.8倍以下であることを特徴とする請求項3に記載の空間像計測方法。

【請求項5】 前記スリットの前記第2方向の幅は、前記照明光及び前記パターンの種別を含む照明条件によって定まる解像限界のラインアンドスペースパターンのピッチである最小ピッチの半分の奇数倍であることを特徴とする請求項1又は2に記載の空間像計測方法。

【請求項6】 前記スリットの前記第2方向の幅は、前記照明光の波長を λ 、前記投影光学系の開口数を $N.A.$ として、 $\{\lambda/(2N.A.)\}$ の奇数倍として規定されることを特徴とする請求項1又は2に記載の空間像計測方法。

【請求項7】 前記光電変換信号をフーリエ変換して空間周波数分布を求め、該求めた空間周波数分布を前記スリットの既知の周波数スペクトルで割り返して元の空間像のスペクトル分布に変換し、該スペクトル分布を逆フーリエ変換することにより元の空間像を回復する工程を更に含むことを特徴とする請求項1～6のいずれか一項

に記載の空間像計測方法。

【請求項8】 投影光学系の結像特性を計測する結像特性計測方法であって、照明光によって所定のパターンを照明し、該パターンの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成する工程と；前記投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延びる所定幅のスリットを少なくとも1つ有するスリット板を前記像面近傍の前記2次元平面内で前記第1方向に垂直な第2方向に走査するとともに、前記スリットを透過した前記照明光を光電変換して前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を得る工程と；前記光電変換信号に所定の処理を施して前記投影光学系の結像特性を求める工程と；を含む結像特性計測方法。

【請求項9】 前記パターンは、第2方向に対応する方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンであり、前記光電変換信号の検出を、前記スリット板の前記光軸方向の位置を変化させつつ複数回繰り返し、前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号をそれぞれフーリエ変換し、それぞれの1次周波数成分と零次周波数成分の振幅比であるコントラストを求め、該コントラストが最大となる光電変換信号に対応する前記光軸方向の位置を検出することにより前記投影光学系のベストフォーカス位置を検出することを特徴とする請求項8に記載の結像特性計測方法。

【請求項10】 前記ベストフォーカス位置の検出を、前記投影光学系の光軸からの距離が異なる複数点に関して繰り返し行うことにより、前記投影光学系の像面形状を検出する工程を更に含むことを特徴とする請求項9に記載の結像特性計測方法。

【請求項11】 前記投影光学系の光軸における前記ベストフォーカス位置の検出を、異なるピッチの複数の前記ラインアンドスペースパターンについて繰り返し行い、前記各パターンに対応する前記ベストフォーカス位置の差に基づいて前記投影光学系の球面収差を求める工程を更に含むことを特徴とする請求項9に記載の結像特性計測方法。

【請求項12】 前記パターンは、前記第2方向の幅が前記スリットの前記第2方向の幅より大きい矩形パターンを少なくとも1つ含むパターンであり、前記空間像の形成と前記光電変換信号の検出とを、前記投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影される前記パターンの空間像について繰り返し行い、前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号それぞれの位相を検出し、該位相検出の結果に基づいて前記各光電変換信号に対応する空間像の位置をそれぞれ算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のディストーション及び倍率の少なくとも一方を求めることを特徴とする請求項8に記載の結像特性計

測方法。

【請求項 13】 前記パターンは、前記第 2 方向の幅が前記スリットの前記第 2 方向の幅より大きい矩形パターンを少なくとも 1 つ含むパターンであり、前記空間像の形成と前記光電変換信号の検出とを、前記投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影される前記パターンの空間像について繰り返し行い、前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号それぞれと所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記各光電変換信号に対応する空間像の位置をそれぞれ算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のディストーション及び倍率の少なくとも一方を求めることを特徴とする請求項 8 に記載の結像特性計測方法。

【請求項 14】 前記パターンは、全体として矩形状で、前記第 1 方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンであることを特徴とする請求項 8 に記載の結像特性計測方法。

【請求項 15】 前記空間像の形成と前記光電変換信号の検出とを、前記投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影される前記パターンの空間像について繰り返し行い、前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号それぞれと所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記各光電変換信号に対応する空間像の位置をそれぞれ算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のディストーション及び倍率の少なくとも一方を求めることを特徴とする請求項 14 に記載の結像特性計測方法。

【請求項 16】 前記パターンは、前記第 2 方向に対応する方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンであり、前記所定の処理として、前記光電変換信号と所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記各ラインパターンの線幅異常値を算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のコマ収差を求めることを特徴とする請求項 8 に記載の結像特性計測方法。

【請求項 17】 前記パターンは、前記第 2 方向に対応する方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンであり、前記所定の処理として、前記光電変換信号の前記各ラインパターンのピッチに対応する第 1 基本周波数成分と、前記ラインアンドスペースパターンの全体の幅に対応する第 2 周波数成分との位相差を算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のコマ収差を求めることを特徴とする請求項 8 に記載の結像特性計測方法。

【請求項 18】 前記パターンは、前記第 2 方向に対応する方向に所定間隔で配置された線幅の異なる少なくとも 2 種類のラインパターンを有する対称マークパターンであり、

前記所定の処理として、前記光電変換信号と所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記パターンの空間像の対称性のずれを算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のコマ収差を求めることを特徴とする請求項 8 に記載の結像特性計測方法。

【請求項 19】 投影光学系によって形成される所定のパターンの空間像を計測する空間像計測装置であって、前記パターンの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成するため、前記パターンを照明する照明装置と；前記投影光学系の光軸に垂直な 2 次元平面内で第 1 方向に延びるとともに、これに垂直な第 2 方向の幅が零より大きく前記照明光の波長 λ を前記投影光学系の開口数 $N.A.$ で除した $(\lambda / N.A.)$ 以下である、少なくとも 1 つのスリットを有するスリット板と；前記スリット板を透過した前記照明光を光電変換して、前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を出力する光電変換素子と；前記照明装置により前記パターンが照明され、前記像面上に前記空間像が形成された状態で、前記像面近傍の前記 2 次元平面内で前記スリット板を前記第 2 方向に走査するとともに、前記光電変換素子からの光電変換信号に基づいて前記空間像に対応する光強度分布を計測する処理装置と；を備える空間像計測装置。

【請求項 20】 マスクに形成された回路パターンを投影光学系を介して基板に転写する露光装置であって、前記基板を保持する基板ステージと；前記スリット板が前記基板ステージと一体で移動可能に構成された請求項 19 に記載の空間像計測装置とを備える露光装置。

【請求項 21】 前記空間像計測装置を用いて、種々のマークパターンの空間像に対応する光強度分布を計測し、その計測された前記光強度分布のデータに基づいて前記投影光学系の結像特性を求める制御装置を更に備えることを特徴とする請求項 20 に記載の露光装置。

【請求項 22】 前記基板ステージ上のマークの位置を検出するマーク検出系と；前記空間像計測装置を用いて、前記投影光学系による前記マスクのパターンの投影位置と前記マーク検出系との相対位置関係を検出する制御装置を更に備えることを特徴とする請求項 20 に記載の露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、空間像計測方法、結像特性計測方法、空間像計測装置及び露光装置に係り、更に詳しくは、投影光学系より像面に形成される空間像を計測する空間像計測方法、該空間像計測方法を利用して投影光学系の結像特性を計測する結像特性計測方法、前記空間像計測方法を実行するための空間像計測装置、及び該空間像計測装置を備える露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より、半導体素子又は液晶表示素子

等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に、フォトマスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）のパターンを、投影光学系を介して表面にフォトレジスト等の感光剤が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板上に転写する投影露光装置、例えばステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）や、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型投影露光装置（いわゆるスキャニング・ステッパ）等が用いられている。

【0003】ところで、半導体素子等を製造する場合には、異なる回路パターンを基板上に幾層にも積み重ねて形成する必要があるため、回路パターンが描画されたレチクルと、基板上の各ショット領域に既に形成されたパターンとを正確に重ね合わせることが重要である。かかる重ね合さを精度良く行うためには、投影光学系の結像特性が所望の状態に調整されることが必要不可欠である。

【0004】この投影光学系の結像特性の調整の前提として、結像特性を正確に計測する必要がある。この結像特性の計測方法として、所定の計測用パターンが形成された計測用マスクを用いて露光を行い、計測用パターンの投影像が転写形成された基板を現像して得られるレジスト像を計測した計測結果に基づいて結像特性を算出する方法（以下、「焼き付け法」と呼ぶ）が、主として用いられている。この他、実際に露光を行うことなく、計測用マスクを照明光により照明し投影光学系によって形成された計測用パターンの空間像（投影像）を計測し、この計測結果に基づいて結像特性を算出する方法（以下、「空間像計測法」と呼ぶ）も行われている。

【0005】従来の空間像計測は、概ね次のようにして行われていた。すなわち、例えば図38（A）に示されるように、正方形開口122が形成された開口板123を基板ステージ上に設置し、不図示の投影光学系によって形成された計測用レチクル上の計測用パターンの空間像MP'に対して、基板ステージを介して開口板123を矢印Aの方向に走査し、開口122を透過した照明光を光電変換素子によって受光して光電変換する。この光電変換により、図38（B）に示されるような光電変換信号（空間像に対応する光強度信号）が得られる。次に、この図38（B）に示されるような光電変換信号の波形を走査方向に対して微分することで図38（C）に示されるような微分波形を求める。そして、この図38（C）に示されるような微分波形に基づいてフーリエ変換法などの公知の所定の信号処理を施し、計測マークが投影された光学像（空間像）を求める。

【0006】かかる空間像の計測及びこれに基づく投影光学系のディストーション等の検出については、例えば、特開平10-209031号公報等などに詳細に開示されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の空間像計測方法にあっては、大きな開口を走査させて空間像強度を計測していたことから、図38（B）に示されるように、空間像のプロファイルを特徴付ける空間周波数成分以外に大きな低周波成分が混在する結果となってしまうていた。この一方、後段の信号処理系のダイナミックレンジには限りがあり、また、信号処理系のダイナミックレンジに対する分解能（例えば、現状では16ビット程度）が限られていることから、結果的に、空間像のプロファイルを反映した信号成分のS/N比が小さくならざるを得なかった。このため、ノイズに弱く、空間像から空間像強度信号に変換する際に像プロファイルの劣化が大きくなってしまい、十分な精度で空間像を計測することが困難であった。

【0008】この他、従来においても、主としてパターンの結像位置の検出を目的として、スリットをパターンの空間像に対して走査する装置が、例えば特開昭58-7823号などに開示されている。しかし、該公報に開示される装置では、スリット幅は、マスクパターン（基準パターン）の形状に対応して決定されていた。このため、種々の形状（大きさを含む）のパターンの空間像を正確に計測することは困難であった。

【0009】本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、十分な精度で空間像を計測することができる空間像計測方法及び空間像計測装置を提供することにある。

【0010】また、本発明の第2の目的は、投影光学系の結像特性を精度良く計測することができる結像特性計測方法を提供することにある。

【0011】また、本発明の第3の目的は、露光精度の向上を図ることができる露光装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】一般に、露光装置に備えられる投影光学系の解像度（解像力）Rは、Rayleighの式で良く知られているように、 $R = k \times \lambda / N.A.$ の関係（ λ は照明光の波長、N.A.は投影光学系の開口数、kはレジストの解像力の他にプロセスによって決定される定数（プロセス係数）である）で表される。そこで、発明者は、かかる点に着目して、種々の実験等を行った結果、空間像計測に用いられる開口の走査方向の幅を、照明光の波長 λ 、投影光学系の開口数N.A.との少なくとも一方を考慮して定めることにより、空間像計測において良好な結果が得られることが判明した。本発明に係る空間像計測方法は、かかる発明者の得た新規知見に基づいてなされたものである。

【0013】請求項1に記載の発明は、投影光学系（P.L）によって形成される所定のパターンの空間像を計測する空間像計測方法であって、照明光（I.L）によって前記パターンを照明し、該パターンの空間像を前記投影

光学系を介して像面上に形成する工程と；前記投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延びるとともに、これに垂直な前記2次元平面内の第2方向の幅が前記照明光の波長 λ を考慮して定められた少なくとも1つのスリットを有するスリット板(90)を前記像面近傍の前記2次元平面内で前記第2方向に走査するとともに、前記スリットを透過した前記照明光を光電変換して前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を得る工程と；を含む。

【0014】これによれば、照明光によって所定のパターンを照明し、該パターンの空間像を投影光学系を介して像面上に形成する。そして、この空間像に対して投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延びるとともに、これに垂直な前記2次元平面内の第2方向の幅が照明光の波長 λ を考慮して定められた少なくとも1つのスリットを有するスリット板を像面近傍の前記2次元平面内で第2方向に走査するとともに、スリットを透過した照明光を光電変換してスリットを透過した照明光の強度に応じた光電変換信号を得る。そして、この光電変換信号に所定の処理を施すことにより、空間像(像強度の分布)を得ることができる。

【0015】すなわち、スリットスキャン方式により、所定パターンの空間像を得ることができる。この場合、スリットの走査方向の幅が照明光の波長を考慮して定められているので、十分な精度で空間像を計測することが可能となる。

【0016】請求項2に記載の発明は、投影光学系によって形成される所定のパターンの空間像を計測する空間像計測方法であって、照明光によって前記パターンを照明し、該パターンの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成する工程と；前記投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延びるとともに、これに垂直な前記2次元平面内の第2方向の幅が前記投影光学系の開口数 $N.A.$ を考慮して定められた少なくとも1つのスリットを有するスリット板を前記像面近傍の前記2次元平面内で前記第2方向に走査するとともに、前記スリットを透過した前記照明光を光電変換して前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を得る工程と；を含む。

【0017】これによれば、照明光によって所定のパターンを照明し、該パターンの空間像を投影光学系を介して像面上に形成する。そして、この空間像に対して投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延びるとともに、これに垂直な前記2次元平面内の第2方向の幅が投影光学系の開口数 $N.A.$ を考慮して定められた少なくとも1つのスリットを有するスリット板を像面近傍の前記2次元平面内で第2方向に走査するとともに、スリットを透過した照明光を光電変換してスリットを透過した照明光の強度に応じた光電変換信号を得る。そして、この光電変換信号に所定の処理を施すことにより、

空間像(像強度の分布)を得ることができる。

【0018】すなわち、スリットスキャン方式により、所定パターンの空間像を得ることができる。この場合、スリットの走査方向の幅が投影光学系の開口数を考慮して定められているので、十分な精度で空間像を計測することが可能となる。

【0019】上記請求項1及び2に記載の各発明に係る空間像計測方法において、請求項3に記載の発明の如く、前記スリットの前記第2方向の幅は、零より大きく前記照明光の波長 λ を前記投影光学系の開口数 $N.A.$ で除した($\lambda/N.A.$)以下であることが望ましい。かかる場合には、解像力に影響を与える2つのパラメータである波長 λ 及び開口数 $N.A.$ の両者を考慮してスリットの走査方向の幅が定められているので、請求項1及び2に記載の各発明に比べても一層精度良く空間像を計測することが可能になる。ここで、スリットの走査方向の幅が、($\lambda/N.A.$)以下であるとしたのは、第1に、発明者が、スリットの走査方向の幅(2Dとする)を、 $2D = f(\lambda/N.A.) = n \cdot (\lambda/N.A.)$ として、シミュレーション及び実験等を繰り返した結果、係数 $n = 1$ とした場合に良好な結果(十分に実用的な結果)が得られたからであり、第2に、後述するように、上記の光電変換信号は、スリットと空間像の強度分布とのコンボリューションになるため、計測精度の面からは、スリットの走査方向の幅2Dは小さい程良いからである。

【0020】この場合において、請求項4に記載の発明の如く、前記スリットの前記第2方向の幅は、前記($\lambda/N.A.$)の0.8倍以下であることが一層望ましい。上述の如く、計測精度の面からは、スリット幅は小さい程良く、発明者が行ったシミュレーションと実験によれば、スリット幅2Dが $\lambda/(N.A.)$ の80%以下であれば、より一層実用的であることが確認された。

【0021】しかしながら、スループット面からの制約を考慮すると、2Dがあまりに小さいと、スリットを透過する光強度が小さくなりすぎて、計測が困難となるので、ある程度の大きさは必要である。

【0022】上記請求項1及び2に記載の各発明に係る空間像計測方法において、請求項5に記載の発明の如く、前記スリットの前記第2方向の幅は、前記照明光及び前記パターンの種別を含む照明条件によって定まる解像限界のラインアンドスペースパターンのピッチである最小ピッチの半分の奇数倍であることとしても良い。

【0023】ここで、コンベンショナル照明の下で、位相シフト法等を用いない通常パターンの場合、上記の最小ピッチは、ほぼ $\lambda/N.A.$ となり、位相シフトパターン、すなわち、位相シフト法を採用した位相シフトマスク(位相シフトレチクル)のパターンの場合には、最小ピッチは、ほぼ $\lambda/(2N.A.)$ となることが、確認されている。なお、位相シフトマスクとしては、ハー

10

20

30

40

50

フトーン型、レベンソン型などが挙げられる。

【0024】上記請求項1及び2に記載の各発明に係る空間像計測方法において、請求項6に記載の発明の如く、前記スリットの前記第2方向の幅は、前記照明光の波長を λ 、前記投影光学系の開口数を $N.A.$ として、 $\{\lambda / (2 N.A.)\}$ の奇数倍として規定されることとしても良い。

【0025】上記請求項1～6に記載の各発明において、請求項7に記載の発明の如く、前記光電変換信号をフーリエ変換して空間周波数分布を求め、該求めた空間周波数分布を前記スリットの既知の周波数スペクトルで割り返して元の空間像のスペクトル分布に変換し、該スペクトル分布を逆フーリエ変換することにより元の空間像を回復する工程を更に含むこととすることができる。

【0026】請求項8に記載の発明は、投影光学系の結像特性を計測する結像特性計測方法であって、照明光によって所定のパターンを照明し、該パターンの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成する工程と；前記投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延びる所定幅のスリットを少なくとも1つ有するスリット板を前記像面近傍の前記2次元平面内で前記第1方向に垂直な前記第2方向に走査するとともに、前記スリットを透過した前記照明光を光電変換して前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を得る工程と；前記光電変換信号に所定の処理を施して前記投影光学系の結像特性を求める工程と；を含む。

【0027】これによれば、照明光によって所定のパターンを照明し、該パターンの空間像を投影光学系を介して像面上に形成する。この状態で、投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延びる所定幅のスリットを少なくとも1つ有するスリット板を像面近傍の前記2次元平面内で第1方向に垂直な第2方向に走査するとともに、スリットを透過した照明光を光電変換してスリットを透過した照明光の強度に応じた光電変換信号を得る。そして、この光電変換信号に所定の処理を施して投影光学系の結像特性を求める。

【0028】すなわち、スリットスキャン方式により、所定パターンの空間像を得ることができ、この得られた光電変換信号に所定の処理を施して投影光学系の結像特性を求めるので、投影光学系の結像特性を精度良く計測することが可能となる。

【0029】この場合において、請求項9に記載の発明の如く、前記パターンは、第2方向に対応する方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンである場合に、前記光電変換信号の検出を、前記スリット板の前記光軸方向の位置を変化させつつ複数回繰り返し、前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号をそれぞれフーリエ変換し、それぞれの1次周波数成分と零次周波数成分の振幅比であるコントラストを求め、該コントラストが最大となる光電変換信号に

対応する前記光軸方向の位置を検出することにより前記投影光学系のベストフォーカス位置を検出することとすることができる。上記コントラストは、フォーカス位置（デフォーカス量）に応じて敏感に変化するので、本発明によれば、投影光学系のベストフォーカス位置を精度良く、かつ容易に計測（決定）することができる。

【0030】この場合において、請求項10に記載の発明の如く、前記ベストフォーカス位置の検出を、前記投影光学系の光軸からの距離が異なる複数点に関して繰り返し行うことにより、前記投影光学系の像面形状を検出する工程を更に含むこととすることができる。像面、すなわち、最良結像面は、光軸からの距離が異なる無数の点（すなわち、いわゆる像の高さが異なる無数の点）におけるベストフォーカス点の集合から成る面であるから、ベストフォーカス位置の検出を、前記投影光学系の光軸からの距離が異なる複数点に関して繰り返し行い、その検出結果に基づいて統計的処理を行うことにより容易にかつ正確に像面を求めることが可能になる。

【0031】上記請求項9に記載の発明に係る結像特性計測方法において、請求項11に記載の発明の如く、前記投影光学系の光軸における前記ベストフォーカス位置の検出を、異なるピッチの複数の前記ラインアンドスペースパターンについて繰り返し行い、前記各パターンに対応する前記ベストフォーカス位置の差に基づいて前記投影光学系の球面収差を求める工程を更に含むこととすることができる。球面収差は、光学系の開口収差の1つであり、光軸上の物点からの種々の開口を持った光線束が光学系に入射したとき、その対応した像点が一点に結像しない現象である。従って、投影光学系の光軸におけるベストフォーカス位置の検出を、異なるピッチの複数のラインアンドスペースパターンについて繰り返し行い、各パターンに対応するベストフォーカス位置の差に基づいて演算により球面収差を簡単に求めることができる。

【0032】上記請求項8に記載の発明に係る結像特性計測方法において、請求項12に記載の発明の如く、前記パターンは、前記第2方向の幅が前記スリットの前記第2方向の幅より大きい矩形パターンを少なくとも1つ含むパターンであり、前記空間像の形成と前記光電変換信号の検出とを、前記投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影される前記パターンの空間像について繰り返し行い、前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号それぞれの位相を検出し、該位相検出の結果に基づいて前記各光電変換信号に対応する空間像の位置をそれぞれ算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のディストーション及び倍率の少なくとも一方を求めることとすることができる。

【0033】ここで、ディストーションとは、イメージフィールド内の周辺で本来直線になるべきものが曲った像になる投影光学系の収差であり、ディストーションにより倍率誤差がある場合と同様に、パターン像が像面上

の所定の位置からずれて（横ずれして）結像される。

【0034】本発明によれば、位相検出の手法により、投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影されるパターンの空間像の位置ずれをそれぞれ精度良く求めることができるので、結果的にディストーション及び倍率の少なくとも一方を精度良く計測することができる。ここで、パターンは、第2方向の幅がスリットの第2方向の幅より大きい矩形パターンを少なくとも1つ含むこととしたのは、パターンの第2方向の幅がスリットより小さいと、コマ収差等の他の収差の影響により、ディストーションを正確に測定することが困難になるからである。

【0035】上記請求項8に記載の発明に係る結像特性計測方法において、請求項13に記載の発明の如く、前記パターンは、前記第2方向の幅が前記スリットの前記第2方向の幅より大きい矩形パターンを少なくとも1つ含むパターンである場合に、前記空間像の形成と前記光電変換信号の検出とを、前記投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影される前記パターンの空間像について繰り返し行い、前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号それぞれと所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記各光電変換信号に対応する空間像の位置をそれぞれ算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のディストーション及び倍率の少なくとも一方を求めることとすることができる。

【0036】本発明によれば、スライス法を用いたエッジ検出の手法により、投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影されるパターンの空間像の位置をそれぞれ精度良く求めることができ、結果的にディストーションを精度良く計測することができる。ここで、パターンは、第2方向の幅がスリットの第2方向の幅より大きい矩形パターンを少なくとも1つ含むこととしたのは、請求項12の場合と同様の理由による。

【0037】上記請求項8に記載の結像特性計測方法において、請求項14に記載の発明の如く、前記パターンは、全体として矩形状で、前記第1方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンであることとしても良い。かかる場合には、スリットスキャン方式により、所定パターンの空間像の検出が行われる際に、スリットがパターンの周期方向に垂直な方向に相対走査され、結果的に、そのパターンの全体形状と同形状の矩形パターンをスリットスキャンしたときと、同様の空間像の信号を得ることができる。これにより、例えば、最近のCMPプロセスにおいて、ディッシングが生じるため形成が困難とされていた10 μ m角のBOXマーク（インナーBOXマーク）パターンなどを実際に形成することなく、かかるマークパターンを用いたときと同等の空間像計測が可能となる。

【0038】この場合において、請求項15に記載の発

明の如く、前記空間像の形成と前記光電変換信号の検出とを、前記投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影される前記パターンの空間像について繰り返し行い、前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号それぞれと所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記各光電変換信号に対応する空間像の位置をそれぞれ算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のディストーション及び倍率の少なくとも一方を求めることとしても良い。

10 【0039】上記請求項8に記載の発明に係る結像特性計測方法において、請求項16に記載の発明の如く、前記パターンは、前記第2方向に対応する方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンである場合に、前記所定の処理として、前記光電変換信号と所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記各ラインパターンの線幅異常値を算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のコマ収差を求めることとすることができる。

20 【0040】コマ収差は、レンズの種々の輪帯で倍率が異なることによるレンズの収差であり、投影光学系の主軸から離れた距離の画像の部分に生じる。従って、光軸から離れた位置では、ラインアンドスペースパターンの空間像の内、各ラインパターンの線幅はコマ収差に応じて異なることになる。従って、スライス法を用いてエッジ検出の手法により各ラインパターンの線幅異常値を検出する本発明によれば、コマ収差を精度良く、かつ容易に計測することが可能となる。

30 【0041】上記請求項8に記載の発明に係る結像特性計測方法において、請求項17に記載の発明の如く、前記パターンは、前記第2方向に対応する方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンである場合に、前記所定の処理として、前記光電変換信号の前記各ラインパターンのピッチに対応する第1基本周波数成分と、前記ラインアンドスペースパターンの全体の幅に対応する第2周波数成分との位相差を算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のコマ収差を求めることとすることができる。空間像計測の対象となるパターンの走査方向の幅が狭いほど、コマ収差の影響を大きく受けるので、ラインアンドスペースパターンの各ラインパターンの空間像に対するコマ収差の影響と、ラインアンドスペースパターンの全体を1つのパターンと見た場合のそのパターンの空間像に対するコマ収差の影響とは相違する。従って、光電変換信号の各ラインパターンのピッチに対応する第1基本周波数成分と、ラインアンドスペースパターンの全体の幅に対応する第2周波数成分との位相差を算出し、該算出結果に基づいて投影光学系のコマ収差を求める本発明によれば、位相検出の手法により、投影光学系のコマ収差を精度良く求めることができる。

40 【0042】上記請求項8に記載の発明に係る結像特性計測方法において、請求項18に記載の発明の如く、前記パターンは、前記第2方向に対応する方向に所定間隔

で配置された線幅の異なる少なくとも 2 種類のラインパターンを有する対称マークパターンである場合、前記所定の処理として、前記光電変換信号と所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記パターンの空間像の対称性のずれを算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のコマ収差を求めることとすることができる。走査方向の幅が細いラインパターンの空間像ほどコマ収差の影響により大きく位置ずれする結果、走査方向に対応する方向に所定間隔で配置された線幅の異なる複数種類のラインパターンを有する対称マークパターンの空間像は、コマ収差が大きいほどその対称性が大きくずれる。従って、スライス法を用いたエッジ検出の手法により、前記対称性マークパターンの空間像の対称性のずれを算出し、その算出結果に基づいて投影光学系のコマ収差を求める本発明によれば、投影光学系のコマ収差を精度良く求めることができる。

【0043】請求項 19 に記載の発明は、投影光学系によって形成される所定のパターンの空間像を計測する空間像計測装置であって、前記パターンの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成するため、前記パターンを照明する照明装置（10）と；前記投影光学系の光軸に垂直な 2 次元平面内で第 1 方向に延びるとともに、これに垂直な第 2 方向の幅が零より大きく前記照明光の波長 λ を前記投影光学系の開口数 $N.A.$ で除した $(\lambda / N.A.)$ 以下である、少なくとも 1 つのスリットを有するスリット板（90）と；前記スリット板を透過した前記照明光を光電変換して、前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を出力する光電変換素子（24）と；前記照明装置により前記パターンが照明され、前記像面上に前記空間像が形成された状態で、前記像面近傍の前記 2 次元平面内で前記スリット板を前記第 2 方向に走査するとともに、前記光電変換素子からの光電変換信号に基づいて前記空間像に対応する光強度分布を計測する処理装置（20）と；を備える。

【0044】これによれば、照明装置によって所定のパターンが照明され、該パターンの空間像が投影光学系を介して像面上に形成される。そして、処理装置により、形成された空間像に対して投影光学系の光軸に垂直な 2 次元平面内で第 1 方向に延びる少なくとも 1 つのスリットを有するスリット板が像面近傍の前記 2 次元平面内で第 2 方向に走査されるとともに、光電変換素子からの光電変換信号（走査中にスリットを透過した照明光を光電変換した電気信号）に基づいて空間像に対応する光強度分布が計測される。すなわち、このようにして、スリットスキャン方式により、所定パターンの空間像が計測される。また、この場合、スリット板に形成されたスリットの走査方向の幅が、 $(\lambda / N.A.)$ 以下であるので、上記請求項 3 と同様に、実用上十分な高い精度で空間像を計測することができる。

【0045】請求項 20 に記載の発明は、マスク（R）

に形成された回路パターンを投影光学系（PL）を介して基板（W）に転写する露光装置であって、前記基板を保持する基板ステージ（WST）と；前記スリット板（90）が前記基板ステージと一体で移動可能に構成された請求項 19 に記載の空間像計測装置とを備える。

【0046】これによれば、スリット板が基板ステージと一体で移動可能に構成された請求項 18 に記載の空間像計測装置を備えることから、例えば、マスクに種々の計測用パターンを形成し、基板ステージと一体でスリット板を移動させつつ、空間像計測装置により、種々の計測用パターンの空間像を高精度に計測することが可能になる。従って、この計測結果を利用して、例えば投影光学系の結像特性の初期調整等を行うことにより、結果的に露光精度の向上が可能となる。

【0047】この場合において、請求項 21 に記載の発明の如く、前記空間像計測装置を用いて、種々のマークパターンの空間像に対応する光強度分布を計測し、その計測された前記光強度分布のデータに基づいて前記投影光学系の結像特性を求める制御装置（20）を更に備えることとすることができる。かかる場合には、制御装置により、種々のマークパターンの空間像に対応する光強度分布を計測し、その計測された光強度分布のデータに基づいて投影光学系の結像特性が求められる。そのため、必要なときに投影光学系の結像特性を求めることが可能となり、この求められた結像特性に応じて露光開始に先立って投影光学系の結像特性を調整することが可能となる。従って、露光精度の向上が可能となる。

【0048】上記請求項 20 に記載の発明に係る露光装置において、請求項 22 に記載の発明の如く、前記基板ステージ上のマークの位置を検出するマーク検出系（ALG1 又は ALG2）と；前記空間像計測装置を用いて、前記投影光学系による前記マスクのパターンの投影位置と前記マーク検出系との相対位置関係を検出する制御装置を更に備えることとすることができる。かかる場合には、制御装置により、空間像計測装置を用いて、前記投影光学系による前記マスクのパターンの投影位置、すなわち前記パターンの空間像の結像位置とマーク検出系との相対位置関係（すなわち、マーク検出系のいわゆるベースライン量）が検出される。この場合、ベースライン量の計測に当たり、マスクパターンの投影位置を、空間像計測装置により直接的に計測することができるので、基準マーク板とレチクル顕微鏡とを用いてマスクパターンの投影位置を間接的に計測する場合に比べて、精度の高いベースライン量の計測が可能である。従って、このベースライン量を用いて、露光時等に基板の位置を制御することにより、マスクと基板との重ね合せ精度の向上により露光精度の向上が可能となる。

【0049】

【発明の実施の形態】《第 1 の実施形態》以下、本発明の第 1 の実施形態を図 1 ないし図 34 に基づいて説明す

る。

【0050】図1には、第1の実施形態に係る露光装置100の概略的な構成が示されている。この露光装置100は、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型投影露光装置、すなわちいわゆるスキャニング・ステッパである。

【0051】この露光装置100は、光源及び照明光学系を含む照明系10、マスクとしてのレチクルRを保持するレチクルステージRST、投影光学系PL、基板としてのウエハWを保持してXY平面内を自在に移動可能な基板ステージとしてのウエハステージWST、及びこれらを制御する制御系等を備えている。

【0052】前記照明系10は、光源、照度均一化光学系（コリメータレンズ、フライアイレンズ等から成る）、リレーレンズ系、照明視野絞りとしてのレチクルブラインド及びコンデンサレンズ系等（いずれも図1では図示省略）を含んで構成されている。

【0053】前記光源としては、ここでは、一例として、KrFエキシマレーザ光（波長248nm）又はArFエキシマレーザ光（波長193nm）を出力するエキシマレーザ光源が用いられるものとする。

【0054】前記レチクルブラインドは、開口形状が固定の不図示の固定レチクルブラインドと開口形状が可変の可動レチクルブラインド12（図1では図示省略、図2参照）とから構成されている。固定レチクルブラインドは、レチクルRのパターン面に対する共役面から僅かにデフォーカスした面に配置され、レチクルR上の長方形スリット状の照明領域IARを規定する矩形開口が形成されている。また、可動レチクルブラインド12は、固定レチクルブラインドの近傍のレチクルRのパターン面に対する共役面に配置され、走査露光時の走査方向（ここでは、図1における紙面直交方向であるY軸方向とする）及び非走査方向（図1における紙面左右方向であるX軸方向）にそれぞれ対応する方向の位置及び幅が可変の開口部を有する。

【0055】照明系10によると、光源で発生した露光光としての照明光（以下、「照明光IL」と呼ぶ）は不図示のシャッターを通過した後、照度均一化光学系により照度分布がほぼ均一な光束に変換される。照度均一化光学系から射出された照明光ILは、リレーレンズ系を介して前記レチクルブラインドに達する。このレチクルブラインドを通過した光束は、リレーレンズ系、コンデンサレンズ系を通過して回路パターン等が描かれたレチクルRの照明領域（X軸方向に細長く伸びY軸方向の幅が所定幅の長方形スリット状の照明領域）IARを均一な照度で照明する。

【0056】なお、可動レチクルブラインド12は、走査露光の開始時及び終了時に主制御装置20によって制御され、照明領域IARを更に制限することによって、不要な部分の露光が防止されるようになっている。ま

た、本実施形態では、可動レチクルブラインド12が、後述する空間像計測器による空間像の計測の際の照明領域の設定にも用いられる。

【0057】前記レチクルステージRST上には、レチクルRが、例えば真空吸着（又は静電吸着）により固定されている。レチクルステージRSTは、ここでは、リニアモータ等を含む不図示のレチクルステージ駆動系により、後述する投影光学系PLの光軸AXに垂直なXY平面内で2次元的に（X軸方向及びこれに直交するY軸方向及びXY平面に直交するZ軸回りの回転方向（ θ_z 方向）に）微少駆動可能であるとともに、不図示のレチクルベース上をY軸方向に指定された走査速度で移動可能となっている。このレチクルステージRSTは、レチクルRの全面が少なくとも投影光学系PLの光軸AXを横切ることができるだけのY軸方向の移動ストロークを有している。

【0058】レチクルステージRST上には、レチクルレーザ干渉計（以下、「レチクル干渉計」という）13からのレーザビームを反射する移動鏡15が固定されており、レチクルステージRSTのXY面内の位置はレチクル干渉計13によって、例えば0.5～1nm程度の分解能で常時検出される。ここで、実際には、レチクルステージRST上には走査露光時の走査方向（Y軸方向）に直交する反射面を有する移動鏡と非走査方向（X軸方向）に直交する反射面を有する移動鏡とが設けられ、レチクル干渉計13はY軸方向に1軸、X軸方向には2軸設けられているが、図1ではこれらが代表的に移動鏡15、レチクル干渉計13として示されている。

【0059】レチクル干渉計13からのレチクルステージRSTの位置情報は、ワークステーション（又はマイクロコンピュータ）から成る主制御装置20に送られ、主制御装置20ではレチクルステージRSTの位置情報に基づいてレチクルステージ駆動系を介してレチクルステージRSTを駆動制御する。

【0060】前記投影光学系PLは、レチクルステージRSTの図1における下方に配置され、その光軸AXの方向がZ軸方向とされ、ここでは両側テレセントリックな縮小系であり、光軸AX方向に沿って所定間隔で配置された複数枚のレンズエレメントから成る屈折光学系が使用されている。この投影光学系PLの投影倍率は、ここでは、一例として1/5となっている。このため、照明系10からの照明光ILによってレチクルR上のスリット状照明領域IARが照明されると、このレチクルRを通過した照明光ILにより、投影光学系PLを介してそのスリット状照明領域IAR内のレチクルRの回路パターンの縮小像（部分倒立像）が表面にフォトリソが塗布されたウエハW上の前記照明領域IARに共役な露光領域IAに形成される。

【0061】前記ウエハステージWSTは、ステージベース16上面に沿って例えば磁気浮上型2次元リニアア

10

20

30

40

50

クチュエータから成る不図示のウエハステージ駆動系により、XY 2次元面内 (θ_z 回転を含む) で自在に駆動されるようになっている。ここで、2次元リニアアクチュエータは、X駆動コイル、Y駆動コイルの他、Z駆動コイルをも有しているため、ウエハステージWSTは、Z、 θ_x 、 θ_y の3自由度方向にも微少駆動が可能な構成となっている。

【0062】ウエハステージWST上には、ウエハホルダ25が載置され、このウエハホルダ25によってウエハWが真空吸着（又は静電吸着）によって保持されている。 10

【0063】なお、ウエハステージWSTに代えて、リニアモータあるいは平面モータ等の駆動系によってXY 2次元面内でのみ駆動される2次元移動ステージを用いる場合には、ウエハホルダ25を、Z、 θ_x 、 θ_y の3自由度方向にボイスコイルモータ等によって微少駆動されるZ・レベリングテーブルを介してその2次元移動ステージ上に搭載すれば良い。

【0064】前記ウエハステージWST上には、ウエハレーザ干渉計（以下、「ウエハ干渉計」という）31から 20
のレーザビームを反射する移動鏡27が固定され、外部に配置されたウエハ干渉計31により、ウエハステージWSTのXY面内の位置が例えば0.5~1nm程度の分解能で常時検出されている。

【0065】ここで、実際には、ウエハステージWST上には、走査露光時の走査方向であるY軸方向に直交する反射面を有する移動鏡と非走査方向であるX軸方向に直交する反射面を有する移動鏡とが設けられ、ウエハ干渉計31はY軸方向に1軸、X軸方向には2軸設けられているが、図1ではこれらが代表的に移動鏡27、ウエハ干渉計31として示されている。ウエハステージWSTの位置情報（又は速度情報）は主制御装置20に送られ、主制御装置20では前記位置情報（又は速度情報）に基づいて不図示のウエハステージ駆動系を介してウエハステージWSTのXY面内の位置を制御する。 30

【0066】また、ウエハステージWST上には、投影光学系PLの結像特性の計測に用いられる空間像計測器59が設けられている。ここで、この空間像計測器59の構成について詳述する。この空間像計測器59は、図2に示されるように、ウエハステージWSTの一端部上面に設けられた上部が開いた突設部58a部分に設けられている。この空間像計測器59は、突設部58aの開口を塞ぐ状態で上方から嵌め込まれた平面視長方形の受光ガラス82、この受光ガラス82の上面に形成され、その一部にスリット22が形成された遮光膜を兼ねる反射膜83、スリット22下方ウエハステージWST内部に配置されたレンズ84、86から成るリレー光学系、該リレー光学系（84、86）によって所定光路長分だけリレーされる照明光束（像光束）の光路を折り曲げる折り曲げミラー88（ここで、レンズ84、86、 50

及びミラー88によって受光光学系が構成される）、及び光電変換素子としての光センサ24等を含んで構成されている。

【0067】前記受光ガラス82の素材としては、ここでは、KrFエキシマレーザ光、あるいはArFエキシマレーザ光の透過性の良い、合成石英、あるいはホタル石などが用いられる。また、光センサ24としては、微弱な光を精度良く検出することが可能な光電変換素子

（受光素子）、例えばフォトマルチプライヤなどが用いられる。なお、本実施形態では、受光ガラス82及び反射膜83によって、スリット板が形成されている。以下の説明においては、受光ガラス82と反射膜83とから成るスリット板を、適宜「スリット板90」と呼ぶものとする。また、前述の如く、スリット22は反射膜83に形成されているが、以下においては、便宜上スリット板90にスリット22が形成されているものとして説明を行う。

【0068】本実施形態では、後述する、レチクルRに形成された計測用パターンの投影光学系PLを介しての投影像（空間像）の計測の際に、投影光学系PLを透過してきた照明光ILによって空間像計測器59を構成するスリット板90が照明されると、そのスリット板90上のスリット22を透過した照明光ILが上記受光光学系（84、86、88）を介して光センサ24で受光され、該光センサ24からその受光量に応じた光電変換信号（光量信号）Pが主制御装置20に出力されるようになっている。

【0069】なお、光センサ24は、必ずしもウエハステージWSTの内部に設ける必要はなく、例えば、図3に示される空間像計測器59'の如く、光センサ24をウエハステージWSTの外部に配置しても良い。図3において、ウエハステージWSTには、その上面がウエハWの表面とほぼ同一面とされた2つの凸部58a、58bが設けられている。凸部58aには、図2の場合と同様に構成されたスリット板90が設けられ、該スリット板90下方のウエハステージWSTの内部には、レンズ84、86及びミラー88が図2と同様の位置関係で配置されている。この場合、ウエハステージWSTの内部には、ライトガイド85も収納されている。このライトガイド85は、その入射端85aが、スリット22が形成された受光面に共役な位置に配置されている。また、このライトガイド85の射出端85bは、凸部58bの上面に固定された送光レンズ87のほぼ真下に配置されている。

【0070】送光レンズ87の上方には、該送光レンズ87に比べて大径の受光レンズ89が配置されている。この受光レンズ89の上方の射出端85bと共役な位置には、光センサ24が配置されている。これら受光レンズ89及び光センサ24は、上記の位置関係を保ってケース92内に収納され、該ケース92は不図示の固定部

材に固定されている。

【0071】この図3の空間像計測器59'では、後述する、レチクルRに形成された計測用パターンの投影光学系PLを介しての投影像（空間像）の計測の際に、投影光学系PLを透過してきた照明光ILによって空間像計測器59'を構成するスリット板90が照明されると、そのスリット板90上のスリット22を透過した照明光ILがレンズ84、ミラー88及びレンズ86を介してライトガイド85の入射端85aに入射する。ライトガイド85で導かれた光は、その射出端85bから射出された後、送光レンズ87を介してウエハステージWSTの外部に導き出される。そして、そのウエハステージWSTの外部に導き出された光は、受光レンズ89を介して光センサ24によって受光され、該光センサ24からその受光量に応じた光電変換信号（光量信号）Pが主制御装置20に出力される。

【0072】この場合、計測用パターンの投影像の計測はスリットスキャン方式により行われるので、その際には、送光レンズ87に対して受光レンズ89及び光センサ24が、移動することになる。そこで、この空間像計測器59'では、所定の範囲内で移動する送光レンズ87を介した光がすべて受光レンズ89に入射するように、各レンズの大きさが設定されている。

【0073】このように、空間像計測器59'では、スリット板90、レンズ84、86、ミラー88、ライトガイド85及び送光レンズ87により、スリット22を介した光をウエハステージWST外に導出する光導出部が構成され、受光レンズ89及び光センサ24によって、ウエハステージWST外へ導出された光を受光する受光部が構成されている。この場合、これら光導出部と受光部とは、機械的に分離されている。そして、空間像計測に際してのみ、光導出部と受光部とは、送光レンズ87と受光レンズ89とを介して光学的に接続される。

【0074】すなわち、空間像計測器59'では、光センサ24がウエハステージWSTの外部の所定位置に設けられているため、光センサ24の発熱に起因してレーザ干渉計31の計測精度等に悪影響を与えたりすることがない。また、ウエハステージWSTの外部と内部とをライトガイド等により接続していないので、ウエハステージWSTの外部と内部とがライトガイドにより接続された場合のようにウエハステージWSTの駆動精度が悪影響を受けることもない。

【0075】なお、空間像計測器59（又は59'）を構成するスリット板90上のスリット22の形状、寸法等、及び空間像計測器59（又は59'）を用いて行われる空間像計測方法、結像特性の計測方法などについては、後に詳述する。

【0076】図1に戻り、投影光学系PLの側面には、ウエハW上のアライメントマーク（位置合わせマーク）を検出するマーク検出系としてのオフアクシス・アライ

メント顕微鏡ALG1が設けられている。本実施形態では、このアライメント顕微鏡ALG1として、画像処理方式のFIA（Filed Image Alignment）系のアライメントセンサが用いられている。このアライメント顕微鏡ALG1は、図2に示されるように、アライメント用光源32、ハーフミラー34、第1対物レンズ36、第2対物レンズ38、撮像素子（CCD）40等を含んで構成されている。ここで、光源32としては、ブロードバンドの照明光を出射するハロゲンランプ等が用いられる。このアライメント顕微鏡ALG1では、図4に示されるように、光源32からの照明光により、ハーフミラー34、第1対物レンズ36を介してウエハW上のアライメントマークMwを照明し、そのアライメントマーク部分からの反射光を第1対物レンズ36、ハーフミラー34、第2対物レンズ38を介して撮像素子40で受光する。これにより、撮像素子の受光面にアライメントマークMwの明視野像が結像される。そして、この明視野像に対応する光電変換信号、すなわちアライメントマークMwの反射像に対応する光強度信号が撮像素子40から主制御装置20に供給される。主制御装置20では、この光強度信号に基づき、アライメント顕微鏡ALGの検出中心を基準とするアライメントマークMwの位置を算出するとともに、その算出結果とそのときのウエハ干渉計31の出力であるウエハステージWSTの位置情報とに基づいて、ウエハ干渉計31の光軸で規定されるステージ座標系におけるアライメントマークMwの座標位置を算出するようになっている。

【0077】更に、本実施形態の露光装置100では、図1に示されるように、主制御装置20によってオンオフが制御される光源を有し、投影光学系PLの結像面に向けて多数のピンホールまたはスリットの像を形成するための結像光束を、光軸AXに対して斜め方向より照射する照射光学系60aと、それらの結像光束のウエハW表面での反射光束を受光する受光光学系60bとから成る斜入射光式の多点焦点位置検出系（フォーカスセンサ）が設けられている。主制御装置20では、投影光学系PLにフォーカス変動が生じた場合には、受光光学系60b内の図示しない平行平板の反射光束の光軸に対する傾きを制御することにより、投影光学系PLのフォーカス変動に応じて焦点位置検出系（60a、60b）にオフセットを与えてそのキャリブレーションを行うようになっている。なお、本実施形態の焦点位置検出系（60a、60b）と同様の多点焦点位置検出系（フォーカスセンサ）の詳細な構成は、例えば特開平6-283403号公報等に掲載されている。

【0078】主制御装置20では、後述する走査露光時等に、受光光学系60bからの焦点ずれ信号（デフォーカス信号）、例えばSカーブ信号に基づいて焦点ずれが零となるようにウエハステージWSTのZ位置及びピッチング量（ θ_x 回転量）及びローリング量（ θ_y 回転

量)を、不図示のウェハステージ駆動系を介して制御することにより、オートフォーカス(自動焦点合わせ)及びオートレベリングを実行する。

【0079】次に、本実施形態の露光装置100における露光工程の動作について簡単に説明する。

【0080】まず、不図示のレチクル搬送系によりレチクルRが搬送され、ローディングポジションにあるレチクルステージRSTに吸着保持される。次いで、主制御装置20により、ウェハステージWST及びレチクルステージRSTの位置が制御され、レチクルR上に形成された不図示のレチクルアライメントマークの投影像(空間像)が空間像計測器59を用いて後述するようにして計測され(図2参照)、レチクルパターン像の投影位置が求められる。すなわち、レチクルアライメントが行われる。

【0081】次に、主制御装置20により、空間像計測器59がアライメント顕微鏡ALG1の直下へ位置するように、ウェハステージWSTが移動され、アライメント光学系ALG1によって空間像計測器59の位置基準となるスリット22が検出される。図5には、このアライメント光学系ALG1によってスリット22が検出されている様子が示されている。主制御装置20では、このアライメント顕微鏡ALG1の検出信号及びそのときのウェハ干渉計31の計測値、並びに先に求めたレチクルパターン像の投影位置に基づいて、レチクルRのパターン像の投影位置とアライメント光学系ALG1との相対位置、すなわちアライメント顕微鏡ALG1のベースライン量を求める。

【0082】かかるベースライン計測が終了すると、主制御装置20により、例えば特開昭61-44429号公報などに詳細に開示されるEGA(エンハンスト・グローバル・アライメント)等のウェハアライメントが行われ、ウェハW上の全てのショット領域の位置が求められる。なお、このウェハアライメントに際して、ウェハW上の複数のショット領域のうちの予め定められた所定のサンプルショットのウェハアライメントマークMwがアライメント顕微鏡ALG1を用いて、前述した如くして計測される(図2参照)。

【0083】次いで、主制御装置20では、上で求めたウェハW上の各ショット領域の位置情報及びベースライン量に基づいて、干渉計31、13からの位置情報をモニタしつつ、ウェハステージWSTを第1ショット領域の走査開始位置に位置決めするとともに、レチクルステージRSTを走査開始位置に位置決めして、その第1ショット領域の走査露光を行う。

【0084】すなわち、主制御装置20では、レチクルステージRSTとウェハステージWSTとのY軸方向逆向きの相対走査を開始し、両ステージRST、WSTがそれぞれの目標走査速度に達すると、露光光ELによってレチクルRのパターン領域が照明され始め、走査露光

が開始される。この走査露光の開始に先立って、光源の発光は開始されているが、主制御装置20によってレチクルブラインドを構成する可動ブラインドの各ブレードの移動がレチクルステージRSTの移動と同期制御されているため、レチクルR上のパターン領域外への露光光ELの照射が遮光されることは、通常のスキヤニング・ステッパと同様である。

【0085】主制御装置20では、特に上記の走査露光時にレチクルステージRSTのY軸方向の移動速度 V_r とウェハステージWSTのX軸方向の移動速度 V_w とが投影光学系PLの投影倍率に応じた速度比に維持されるようにレチクルステージRST及びウェハステージWSTを同期制御する。

【0086】そして、レチクルRのパターン領域の異なる領域が紫外パルス光で逐次照明され、パターン領域全面に対する照明が完了することにより、ウェハW上の第1ショット領域の走査露光が終了する。これにより、レチクルRの回路パターンが投影光学系PLを介して第1ショット領域に縮小転写される。

【0087】こうして第1ショット領域の走査露光が終了すると、ウェハステージWSTを第2ショット領域の走査開始位置へ移動させるショット間のステッピング動作を行う。そして、その第2ショット領域の走査露光を上述と同様にして行う。以後、第3ショット領域以降も同様の動作を行う。

【0088】このようにして、ショット間のステッピング動作とショットの走査露光動作とが繰り返され、ステップアンドスキャン方式でウェハW上の全てのショット領域にレチクルRのパターンが転写される。

【0089】ここで、上記の走査露光中には、投影光学系PLに一体的に取付けられたフォーカスセンサ(60a、60b)によってウェハW表面と投影光学系PL(その像面)との間隔、XY平面(像面)に対する傾斜が計測され、主制御装置20によってウェハW表面と投影光学系PLとの間隔、平行度が常に一定になるようにウェハステージWSTが制御される。

【0090】ところで、上記の走査露光中に、レチクルRのパターンとウェハW上のショット領域に既に形成されたパターンとが正確に重ね合わせられるためには、投影光学系PLの結像特性やベースライン量が正確に計測されていること、及び投影光学系PLの結像特性が所望の状態に調整されていることなどが重要である。

【0091】本実施形態では、上記の結像特性の計測に、空間像計測器59又は59'(以下、代表して「空間像計測器59」と記す)が用いられる。以下、この空間像計測器59による空間像計測、及び投影光学系PLの結像特性の計測等について詳述する。

【0092】図2には、空間像計測器59を用いて、レチクルRに形成された計測用パターンの空間像が計測されている最中の状態が示されている。レチクルRとして

10

20

30

40

50

は、空間像計測専用のもの、あるいはデバイスの製造に用いられるデバイスレチクルに専用の計測用マークを形成したものなどが用いられる。これらのレチクルの代わりに、レチクルステージRSTにレチクルと同材質のガラス素材から成る固定のマーク板（レチクルフィデュシャルマーク板とも呼ばれる）を設け、このマーク板に計測用マーク（計測用パターン）を形成したものをを用いても良い。

【0093】ここで、レチクルRには、図2に示されるように、所定の箇所にX軸方向に周期性を有するラインアンドスペースマークから成る計測用パターンPMが形成されているものとする。また、空間像計測器59のスリット板90には、図6（A）に示されるように、Y軸方向に伸びる所定幅2Dのスリット22が形成されているものとする。なお、以下では、ラインアンドスペースを適宜「L/S」と略述する。

【0094】空間像の計測に当たり、主制御装置20により、可動レチクルブラインド12が不図示のブラインド駆動装置を介して駆動され、レチクルRの照明光ILの照明領域が計測用パターンPM部分のみに規定される（図2参照）。この状態で、照明光ILがレチクルRに照射されると、図2に示されるように、計測用パターンPMによって回折、散乱した光（照明光IL）は投影光学系PLにより屈折され、該投影光学系PLの像面に計測用パターンPMの空間像（投影像）PM'が形成される。このとき、ウェハステージWSTは、空間像計測器59のスリット板90上のスリット22の+X側（又は-X側）に前記空間像PM'が形成される位置に設定されているものとする。このときの空間像計測器59の平面図が図6（A）に示されている。

【0095】そして、主制御装置20により、ウェハステージ駆動系を介してウェハステージWSTが図6

（A）中に矢印Fで示されるように+X方向に駆動されると、スリット22が空間像PM'に対してX軸方向に走査される。この走査中に、スリット22を通過する光（照明光IL）がウェハステージWST内の受光光学系（又は図3の場合、光導出部及び受光レンズ）を介して光センサ24で受光され、その光電変換信号が主制御装置20に供給される。主制御装置20では、その光電変換信号に基づいて不図示の信号処理系を介して空間像PM'に対応する光強度分布を計測する。

【0096】図6（B）には、上記の空間像計測の際に*

波長(nm)	投影レンズの開口数	(A)波長/投影レンズの開口数	B=A×0.8
248	0.68	364	291
248	0.75	331	264
193	0.65	297	238
193	0.75	257	206
193	0.85	227	182

【0106】上記表1からもわかるように、開口数、波長によって十分なスリット幅（開口サイズ：表1中のB）は異なるが、概略300nm以下が適切な値であ

*得られる光電変換信号（光強度信号）Pの一例が示されている。

【0097】この場合、空間像PM'はスリット22の走査方向（走査露光時の走査方向ではなく、上記の空間像に対する走査方向、すなわちX軸方向）の幅（2D）の影響で像が平均化する。

【0098】従って、スリットをp(x)、空間像の強度分布をi(x)、観測される光強度信号をm(x)とすると、空間像の強度分布i(x)と観測される強度信号m(x)の関係は次の（1）式で表すことができる。この（1）式において、強度分布i(x)、強度信号m(x)の単位は単位長さ当たりの強度とする。

【0099】

【数1】

$$m(x) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x-u) \cdot i(u) du \quad \dots(1)$$

【0100】

【数2】

$$p(x) = \begin{cases} 1(|x| \leq D) \\ 0(|x| > D) \end{cases} \quad \dots(2)$$

【0101】すなわち、観測される強度信号m(x)はスリットp(x)と空間像の強度分布i(x)のコンボリューションになる。

【0102】従って、計測精度の面からは、スリットの走査方向の幅（以下、単に「スリット幅」と呼ぶ）2Dは小さい程良い。

【0103】発明者は、スリット幅2Dを、照明光ILの波長λ、投影光学系PLの開口数N.A.の関数f(λ/N.A.)として、種々のシミュレーション及び実験等を繰り返し行った。その結果、スリット幅2D=n・(λ/N.A.)とし、かつ係数n≤1とした場合に、十分に実用的であり、特にn≤0.8であればより実用的であることが確認された。ここで、実用的であるとは、空間像→空間像強度信号の変換の際に像プロファイルの劣化が少なく、光センサ24（光電変換素子）以降の信号処理系には大きなダイナミック・レンジが不要となり十分な精度が得られることを意味する。

【0104】上記の良好な結果の一例を示せば、例えば、次の表1のようになる。

【0105】

【表1】

波長(nm)	投影レンズの開口数	(A)波長/投影レンズの開口数	B=A×0.8
248	0.68	364	291
248	0.75	331	264
193	0.65	297	238
193	0.75	257	206
193	0.85	227	182

る。この程度のスリットは市販のクロムレチクル（マスクブランクとも呼ばれる。）を用いて製作可能である。

【0107】クロムレチクルは、通常100nm程度の膜厚のクロム膜が石英基板に蒸着されている。石英基板は、2.286mm、3.048mm、4.572mm、6.35mm厚のものが標準的である。

【0108】上述の如く、スリット幅2Dは、小さいほど良く、本実施形態のようにフォトマルチプライヤを光センサ24として用いる場合には、スリット幅が非常に小さくても走査速度を遅くして計測に時間を掛ければ光量（光強度）の検出は可能である。しかしながら、現実には、スループットの面から空間像計測時の走査速度には、一定の制約があるため、スリット幅2Dがあまりにも小さいと、スリット22を透過する光量が小さくなり過ぎて、計測が困難となってしまう。

【0109】発明者がシミュレーション及び実験等により得た知見によれば、スリット幅2Dの最適値は、露光装置の解像限界ピッチ（L/Sパターンのピッチ）の半分程度となることが確認された。これについては、後で更に詳述する。

【0110】これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、照明光学系10、空間像計測器59（スリット板90及び光センサ24を含む）、ウエハステージWST及び主制御装置20によって空間像計測装置が構成されている。また、この内、主制御装置20によって、空間像計測装置の一部を成す処理装置が構成されている。

【0111】上述した空間像計測装置及び空間像計測方法は、a. ベストフォーカス位置の検出、b. パターン像の結像位置の検出、c. アライメント顕微鏡ALGのベースライン計測等に用いられる。

【0112】本実施形態の露光装置100におけるc. ベースライン計測については既に説明したので、以下、上記a. ベストフォーカス位置の検出及びb. パターン像の結像位置の検出について、実施例を交えながら説明する。

〈ベストフォーカス位置の検出〉このベストフォーカス位置の検出は、例えばA. 投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出及び最良結像面（像面）の検出及びB. 球面収差測定などの目的に用いられる。

【0113】図7～図12には、ライン幅0.2μm、デューティ比50%のL/Sマークの空間像を前述した空間像計測方法により計測した場合に対応する結像シミュレーションの結果が示されている。このシミュレーションの条件は、照明光の波長248nm、投影光学系のN.A.=0.68、照明のコヒーレンスファクタσ=0.85で、スリット幅2D=0.3μmである。この条件は、表1のBの条件に近い。なお、図7～図12において、横軸はスリットのX位置（μm）を示し、縦軸は光強度（エネルギー値）を示す。

【0114】図7は、ベストフォーカス位置でのシミュレーション結果を示す。この図7において、実線で示さ

れる波形P2は0.2μmL/Sの空間像で（1）式のi（x）に相当し、点線で示される波形P3がスリットの走査（空間像計測）によって得られる光強度信号で（1）式のm（x）に相当する。

【0115】図8は図7の強度信号P3、すなわちm（x）をフーリエ変換した際の空間周波数成分を、元の強度信号P3とともに示す。図8において、破線で示される波形P4は0次周波数成分を、一点鎖線で示される波形P5は1次周波数成分を、二点鎖線で示される波形P6は2次周波数成分を、実線で示される波形P7は3次周波数成分を、それぞれ示す。なお、図8では、P4～P7は、識別を容易にするため、1.0だけ嵩上げして示されている。

【0116】図9はベストフォーカス位置から0.2μmデフォーカスした場合のシミュレーション結果を示す。この図9において、実線で示される波形P2は0.2μmL/Sの空間像で（1）式のi（x）に相当し、点線で示される波形P3がスリットの走査（空間像計測）によって得られる光強度信号で（1）式のm（x）に相当する。

【0117】図10は図9の強度信号P3をフーリエ変換した際の空間周波数成分を、元の強度信号P3とともに示す。図10において、破線で示される波形P4は0次周波数成分を、一点鎖線で示される波形P5は1次周波数成分を、二点鎖線で示される波形P6は2次周波数成分を、実線で示される波形P7は3次周波数成分を、それぞれ示す。なお、図10では、P4～P7は、識別を容易にするため、1.0だけ嵩上げして示されている。

【0118】図11はベストフォーカス位置から0.3μmデフォーカスした場合のシミュレーション結果を示す。この図11において、実線で示される波形P2は0.2μmL/Sの空間像で（1）式のi（x）に相当し、点線で示される波形P3がスリットの走査（空間像計測）によって得られる光強度信号で（1）式のm（x）に相当する。

【0119】図12は図11の強度信号P3をフーリエ変換した際の空間周波数成分を、元の強度信号P3とともに示す。図12において、破線で示される波形P4は0次周波数成分を、一点鎖線で示される波形P5は1次周波数成分を、二点鎖線で示される波形P6は2次周波数成分を、実線で示される波形P7は3次周波数成分を、それぞれ示す。なお、図12では、P4～P7は、識別を容易にするため、1.0だけ嵩上げして示されている。

【0120】図7と図9とを比較するとわかるように、0.2μmのデフォーカスによって明らかに像の形状が崩れている。また、図9と図11とを比較すると、デフォーカス量の増大に伴って明らかに像の形状がさらに崩れていることがわかる。

【0121】また、上述のように、光強度信号P3を周波数成分に分離すると、いろいろな信号処理が容易に行える。例えば、1次周波数成分P5と0次周波数成分P4との振幅比、すなわち（1次/0次）の振幅比であるコントラストに着目してみると、図8に示されるベストフォーカス位置の場合のコントラストは、0.43である。また、図10に示されるベストフォーカス位置から0.2μmデフォーカスした場合のコントラストは、0.24である。また、図12に示されるベストフォーカス位置から0.3μmデフォーカスした場合のコントラストは、0.047である。

【0122】このように、（1次/0次）の振幅比であるコントラストは、フォーカス位置によって敏感に変化するので強度信号からベストフォーカス位置を決定するのに便利である。すなわち、ベストフォーカス位置は（1次/0次）の振幅比であるコントラストが最大となるフォーカス位置を求めることによって検出可能である。

【0123】そこで、本実施形態では、次のようにして投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出を行う。

【0124】このベストフォーカス位置の検出には、例えば、ウェハ上でライン幅0.2μm（レチクル上で1μm）、デューティ比50%のL/Sマークが、計測用パターンPMとして形成された計測用レチクル（便宜上レチクルR'とする）が用いられる。このベストフォーカス位置の検出は、上述したシミュレーションと全く同じ条件の下で行われるものとする。

【0125】まず、不図示のレチクルローダにより、レチクルステージRST上にレチクルR'がロードされる。次に、主制御装置20では、レチクルR'上の計測用パターンPMが、投影光学系PLの光軸上にほぼ一致するように、レチクルステージRSTを移動する。

【0126】次に、主制御装置20では、照明光ILが計測用パターンPM部分のみに照射されるように可動レチクルブラインド12を駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、主制御装置20では、照明光ILをレチクルR'に照射して、前述と同様にして、ウェハステージWSTをX軸方向に走査しながら空間像計測器59を用いて、計測用パターンPMの空間像計測を前述と同様にスリットスキャン方式により行う。この際、主制御装置20では、スリット板90のZ軸方向の位置（すなわち、ウェハステージWSTのZ位置）を変化させつつ、複数回繰り返し、各回の光強度信号（光電変換信号）を内部メモリに記憶する。

【0127】そして、主制御装置20では、前記繰り返しにより得られた複数の光強度信号（光電変換信号）をそれぞれフーリエ変換し、それぞれの1次周波数成分と0次周波数成分の振幅比であるコントラストを求める。そして、主制御装置20では、そのコントラストが最大となる光強度信号に対応するウェハステージWSTのZ

位置（すなわち、スリット板90のZ軸方向の位置）を検出し、この位置を投影光学系PLのベストフォーカス位置として決定する。前述の如く、コントラストは、フォーカス位置（デフォーカス量）に応じて敏感に変化するので、投影光学系PLのベストフォーカス位置を精度良く、かつ容易に計測（決定）することができる。

【0128】なお、2次以上の高次の次数の周波数成分の振幅は一般に小さく、電氣的なノイズ、光学的なノイズに対する振幅が十分に取れない場合もあるが、S/N比（シグナル/ノイズ）の点で問題がない場合には高次の周波数成分の振幅比の変化を観測してもベストフォーカス位置を求めることができる。計測用パターンであるL/Sマークはライン幅とスペース幅が等しいデューティ比50%のパターンであることが望ましいが、それ以外のデューティ比のマークを用いることも可能である。発明者が実験等の結果得た知見によれば、L/Sマークのラインパターンの配列周期、すなわちマークピッチP_rは、次の（3）式程度である場合に良好な結果が得られることが判明した。

【0129】

$$P_r = \lambda / N \cdot A \cdot \times (1 \sim 1.2) \quad \dots (3)$$

なお、上述したコントラストを用いる方法に限らず、光強度信号P（（1）式のm(x)）の微分値が最大となるZ位置（フォーカス位置）を検出する手法によってもベストフォーカス位置の検出が可能である。

【0130】また、投影光学系PLの像面形状の検出は、次のようにして行うことができる。

【0131】すなわち、この像面形状の検出に際しては、一例として図13に示されるように、パターン領域PA内に、前述した計測用パターンPMと同一寸法同一周期の計測用パターンPM₁～PM_nが形成された計測用レチクルR1が用いられる。

【0132】まず、不図示のレチクルローダにより、レチクルステージRST上にレチクルR1がロードされる。次に、主制御装置20では、レチクルR1の中央に存在する計測用パターンPM₁が、投影光学系PLの光軸上にほぼ一致するように、レチクルステージRSTを移動する。次に、主制御装置20では、照明光ILが計測用パターンPM₁部分のみに照射されるように可動レチクルブラインド12を駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、主制御装置20では、照明光ILをレチクルR1に照射して、前述と同様にして、スリットスキャン方式により空間像計測器59を用いて計測用パターンPM₁の空間像計測及び投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出を行い、その結果を内部メモリに記憶する。

【0133】計測用パターンPM₁を用いたベストフォーカス位置の検出が終了すると、主制御装置20では、照明光ILが計測用パターンPM₂部分のみに照射されるように可動レチクルブラインド12を駆動制御して照

10

20

30

40

50

明領域を規定する。この状態で、上記と同様に、スリットスキャン方式で計測用パターンPM₂の空間像計測及び投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出を行い、その結果を内部メモリに記憶する。

【0134】以後、主制御装置20では、上記と同様に、照明領域を変更しつつ、計測用パターンPM₃～PM_nについて空間像の計測及び投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出を繰り返し行う。

【0135】これにより得られた各ベストフォーカス位置Z₁、Z₂、……、Z_nに基づいて、所定の統計的処理を行うことにより、投影光学系PLの像面形状を算出する。

【0136】投影光学系PLの像面、すなわち、最良結像面は、光軸からの距離が異なる無数の点（すなわち、いわゆる像の高さが異なる無数の点）におけるベストフォーカス点の集合から成る面であるから、このような手法により、像面形状を容易にかつ正確に求めることができる。

【0137】以上により、前述したA. 投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出及び最良結像面（像面）の検出を行うことができる。

【0138】また、投影光学系PLの球面収差の検出は、次のようにして行うことができる。

【0139】すなわち、この球面収差の検出に際しては、例えば、図14に示されるようにパターン領域PA内のX軸方向のほぼ中央に、Y軸方向に所定距離隔てて2つの計測用パターンPM1、PM2が形成された計測用レチクルR2が用いられる。計測用パターンPM1は、前述した計測用パターンPMと同一寸法同一周期のL/Sパターンである。また、計測用パターンPM2は、計測用パターンと同一寸法のラインパターンが異なる周期（例えば、計測用パターンPM1の周期（マークピッチ）の1.5～2倍程度）でX軸方向に並んだL/Sパターンである。

【0140】まず、不図示のレチクルローダにより、レチクルステージRST上にレチクルR2がロードされる。次に、主制御装置20では、レチクルR2上の計測用パターンPM1が、投影光学系PLの光軸上にほぼ一致するように、レチクルステージRSTを移動する。次に、主制御装置20では、照明光ILが計測用パターンPM1部分のみに照射されるように可動レチクルブライ*

*ンド12を駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、主制御装置20では、照明光ILをレチクルR2に照射して、前述と同様に、スリットスキャン方式により空間像計測器59を用いて計測用パターンPM1の空間像計測及び投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出を行い、その結果を内部メモリに記憶する。

【0141】計測用パターンPM1を用いたベストフォーカス位置の検出が終了すると、主制御装置20では、照明光ILが計測用パターンPM2部分に照射されるようにレチクルステージRSTを-Y方向に所定距離移動する。この状態で、上記と同様に、スリットスキャン方式で計測用パターンPM2の空間像計測及び投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出を行い、その結果を内部メモリに記憶する。

【0142】これにより得られた各ベストフォーカス位置Z₁とZ₂との差に基づいて、投影光学系PLの球面収差を演算により算出する。

【0143】球面収差は、光学系の開口収差の1つであり、光軸上の物点からの種々の開口を持った光線束が光学系に入射したとき、その対応した像点が1点に結像しない現象である。従って、投影光学系の光軸におけるベストフォーカス位置の検出を、異なるピッチの複数のL/Sパターンについて繰り返し行い、各パターンに対応するベストフォーカス位置の差に基づいて演算により球面収差を簡単に求めることができる。なお、この場合のベストフォーカス位置の差の測定精度は3σ<20nm程度であることが実用上は必要である。

【0144】〈パターン像の結像位置の検出〉パターン像の結像位置の検出は、C. 投影光学系の倍率及びディストーション測定、D. 投影光学系のコマ収差測定、E. 照明テレセン測定のそれぞれの目的で行われる。

【0145】計測用パターン（計測対象となるマーク）は目的によって様々である。分類すると次の表2のようになる。ここで、空間像計測に基づく、投影光学系の結像特性の計測結果は、前述した焼き付け法による結像特性の計測結果と基本的に一致することが望ましいので、表2では、焼き付け計測用マークとともに空間像計測用マーク（空間像計測用パターン）が示されている。

【0146】

【表2】

目的	焼き付け測定用マーク	空間像計測用マーク
C投影レンズ倍率・ディストーション測定	Box in Box Mark、大L/Sマーク	Box in Box Mark、大L/Sマーク
D投影レンズコマ収差測定	Line in Box Mark、L/Sマーク	Line in Box Mark、L/Sマーク、大小L/Sマーク
E照明テレセン測定	Box in Box Mark、大L/Sマーク	Box in Box Mark、大L/Sマーク

【0147】次に、投影光学系PLの倍率及びディストーション測定について説明する。この投影光学系PLの倍率及びディストーション測定に際しては、例えば、図

15に示されるように、パターン領域PAの中心部及び4角の部分に、合計5個の150μm角（投影倍率1/5でウエハ面上では30μm角）の正方形マークから成

る計測用パターン $BM_1 \sim BM_5$ が形成された計測用レチクル R_3 が用いられる。また、この場合、空間像計測器 59 を構成するスリット板 90 上には、図 16 に示されるような、 X 軸方向に伸びる所定幅 W 、長さ L のスリット $22a$ と、 Y 軸方向に伸びる所定幅 W 、長さ L のスリット $22b$ とが形成されているとともに、ウェハステージ WST の内部の受光光学系及び光センサ 24 （又は図 3 の光導出部及び受光部）によりスリット $22a$ 、 $22b$ のいずれを透過した光をも受光が可能になっているものとする。ここで、 W は例えば $0.3 \mu m$ であり、 L は例えば $25 \mu m$ である。

【 0148 】まず、不図示のレチクルローダにより、レチクルステージ RST 上にレチクル R_3 がロードされる。次に、主制御装置 20 では、レチクル R_3 の中央に存在する計測用パターン BM_1 の中心が、投影光学系 PL の光軸上にほぼ一致するように、レチクルステージ RST を移動する。次に、主制御装置 20 では、照明光 IL が計測用パターン BM_1 を含む計測用パターン BM_1 より一回り大きい矩形領域部分のみに照射されるように可動レチクルブラインド 12 を駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、主制御装置 20 では、照明光 IL をレチクル R_3 に照射する。これにより、図 16 に示されるように、計測用パターン BM_1 の空間像 BM_1' 、すなわちほぼ 30μ 角の正形状のパターン像が形成される。

【 0149 】この状態で、主制御装置 20 では、図 16 に矢印 A で示されるように、ウェハステージ WST を X 軸方向に走査しながら空間像計測器 59 を用いて計測用パターン PM_1 の空間像計測を行い、その計測により得られた光強度信号 $m(x)$ をメモリに記憶する。次に、主制御装置 20 では、得られた光強度信号 $m(x)$ に基づき、例えば公知の位相検出の手法により、計測用パターン PM_1 の結像位置を求める。ここで、この位相検出の手法としては、例えば、光強度信号 $m(x)$ をフーリエ変換して得られる 1 次周波数成分（これは、正弦波とみなせる）とこれと同一周波数の基準となる正弦波との積の例えば 1 周期分の和を求めるとともに、前記 1 次周波数成分とこれと同一周期の基準となる余弦波との積の例えば 1 周期分の和を求める。そして、得られた和同士を除算して得られた商の逆正接（アークタンジェント）を求めることにより、 1 次周波数成分の基準信号に対する位相差を求め、この位相差に基づいて計測用パターン PM_1 の X 位置 x_1 を求めるという一般的な方法を用いることができる。

【 0150 】次に、主制御装置 20 では、ウェハステージ WST を Y 軸方向に走査しながら空間像計測器 59 を用いて計測用パターン PM_1 の空間像計測を行い、その計測により得られた光強度信号 $m(y)$ をメモリに記憶する。そして、上記と同様の位相検出の手法により、計測用パターン PM_1 の Y 位置 y_1 を求める。そして、主制

御装置 20 では、得られた計測用パターン PM_1 の座標値 (x_1, y_1) に基づいて、レチクル R_3 の光軸中心に対する位置ずれを補正する。

【 0151 】上記のレチクル R_3 の位置ずれの補正が終了すると、主制御装置 20 では、照明光 IL が計測用パターン BM_2 を含む計測用パターン BM_2 より一回り大きい矩形領域部分のみに照射されるように可動レチクルブラインド 12 を駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、上記と同様に、スリットスキャン方式で計測用パターン BM_2 の空間像計測及びその XY 位置の計測を行い、その結果を内部メモリに記憶する。

【 0152 】以後、主制御装置 20 では、上記と同様に、照明領域を変更しつつ、計測用パターン $BM_3 \sim BM_5$ について空間像の計測及び XY 位置の計測を繰り返す。

【 0153 】これにより得られた計測用パターン $BM_2 \sim BM_5$ の座標値 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) 、 (x_4, y_4) 、 (x_5, y_5) に基づいて、所定の演算を行うことにより、投影光学系 PL の倍率及びディストーションの少なくとも一方を算出する。

【 0154 】ディストーションとは、イメージフィールド内の周辺で本来直線になるべきものが曲った像になる投影光学系 PL の収差であり、このディストーションにより倍率誤差がある場合と同様にパターン像が像面上の所定の位置からずれて（横ずれして）結像される。

【 0155 】従って、上述した倍率及びディストーションの計測方法によると、投影光学系 PL のイメージフィールド内の異なる位置に投影される各計測用パターンの空間像の位置ずれを、位相検出の手法により、それぞれ精度良く求めることができるので、結果的にディストーション及び倍率の少なくとも一方を精度良く計測することができる。

【 0156 】但し、単一の $30 \mu m$ 角のパターン像 BM_n' （ $n=1, 2, \dots, 5$ ）をスリットスキャンしてもその像のエッジは 2 個所しかなく、計測精度が十分得られない場合もある。このような場合は、コマ収差の影響を受けることが殆ど無い程度の大きな L/S パターン、例えば $5 \mu m$ 以上のライン幅の L/S パターン（この空間像は、ライン幅 $1 \mu m$ の L/S パターン像となる）から成る計測用パターン（便宜上「 $CM_1 \sim CM_5$ 」と呼ぶ）が、計測用パターン $BM_1 \sim BM_5$ に代えて形成されたレチクルを用いれば良い。図 17 には、このようなレチクルを用いて空間像計測を行う際に、スリット板 90 上にその計測用パターン $CM_1 \sim CM_5$ の空間像 CM_n' （ $n=1, 2, \dots, 5$ ）が形成された状態が示されている。

【 0157 】なお、上では、位相検出の手法により、計測用パターンの空間像の位置ずれを計測するものとしたが、これに限らず、前述と同様に、スリットスキャン方式の空間像計測を投影光学系 PL のイメージフィールド

内の異なる位置に投影される計測用パターン（ BM_n 又は CM_n ）の空間像（ BM_n' 又は CM_n' ）について繰り返し行い、その繰り返しにより得られた複数の光強度信号 $m(x)$ （光電変換信号）それぞれと所定のスライスレベルとの交点に基づいて各光電変換信号に対応する空間像（ BM_n' 又は CM_n' ）の位置（エッジの位置）をそれぞれ算出し、該算出結果に基づいて投影光学系PLのディストーション及び倍率の少なくとも一方を求めることとしても良い。かかる場合には、スライス法を用いたエッジ検出の手法により、投影光学系PLのイメージフィールド内の異なる位置に投影される空間像（ BM_n' 又は CM_n' ）の位置をそれぞれ精度良く求めることができ、結果的にディストーション及び倍率の少なくとも一方を精度良く計測することができる。この場合、設定されたスライスレベルで各光強度信号が2値化され、そのスライスレベルの設定が適切な場合には、例えば図7の波形P2とP3との関係から想像できるように、焼き付けにより実際に得られるレジスト像のエッジ位置を計測するのと等価となる。

【0158】ところで、現状の露光装置では、投影光学系のディストーション（倍率を含む）の管理は、基準ウエハを用いて次のようにして行われている。ここで、基準ウエハとは、投影光学系による露光領域内に $30\mu m$ 角の OUTER BOX マークを転写した後、現像工程を経てエッチングを行い、そのエッチング後に OUTER BOX マークのエッジの位置を光波干渉式座標測定器などで予め計測しておいたものである。そして、露光装置のディストーション計測時にはエッチングされた $30\mu m$ 角の OUTER BOX マークの中心に、 $10\mu m$ 角の INNER BOX マークのレジスト像を焼き付け、相対位置をレジストレーション測定器などで計測する。

【0159】従って、ウエハ上（像面上）で $10\mu m$ 角の BOX マークの空間像をエッジ検出の手法により検出することにより、ディストーション計測を行えば、コマ収差の影響が基準ウエハを用いた上記のディストーション計測時と同等になり、相対的な差が発生しない。このため、上記の基準ウエハを用いたディストーション計測と同等な精度（accuracy）でディストーションを空間像から計測できるようになる。

【0160】これを実現するために、前述したデバイスレチクルやレチクルフィデューシャルマーク板に $50\mu m$ 角（ウエハ上 $10\mu m$ 角）の INNER BOX マークを形成することが考えられる。しかるに、最近の CMP プロセスでは、ウエハ上 $10\mu m$ 角のマークはディッシングが生じるために入れない。

【0161】そこで、発明者は、鋭意検討した結果、ウエハ上 $10\mu m$ 角の BOX マークの非計測方向（ $10\mu m$ である必要はない）をストライプ状に細分化したマーク（以下、適宜「擬似 BOX マーク」と呼ぶ）を用いて、空間像計測を行えば良いとの結論に達した。その理

由は、擬似 BOX マークは、いわゆる L/S パターンの一種であり、その周期方向に垂直な方向に空間像計測器をスキャンして、スリットスキャン方式により空間像計測を行えば、得られる信号波形は、BOX マークの空間像から得られる信号波形と同様の信号波形が得られるからである。

【0162】発明者は、図15に示される計測用レチクルR3の計測用パターン $BM_1 \sim BM_3$ に代えて、計測用パターンをX方向に関してストライプ状に細分化した擬似ボックスパターンを形成した計測用レチクルR3'を用いて、前述と同様の手順でエッジ検出の手法による投影光学系PLのディストーション計測を行った結果、各計測用パターンのY位置として、計測用パターン BM_n のY位置と同等の値となることが確認された。これより、Y方向に関して細分化された擬似ボックスパターンと、X方向に関して細分化された擬似ボックスパターンとが形成された計測用レチクルなどを用意し、それぞれの計測用パターンをスリット22a, 22bで相対走査することにより、ディストーション計測を行うことができる。

【0163】図18には、上述したY方向に関して細分化された擬似ボックスパターンと、X方向に関して細分化された擬似ボックスパターンその他の計測用パターンが形成されたマークブロック（ $300\mu m$ 角）の一例が示されている。この図18において、符号MM1, MM2は、例えば5本の $5\mu m$ L/S マークから成る倍率計測パターンであり、符号MM3, MM4は、例えば29本の $1\mu m$ L/S マークから成るフォーカス計測パターンであり、符号MM5, MM6は、例えば11本の $2.5\mu m$ L/S マークから成る擬似ボックスパターンである。この図18のマークブロックは、例えばデバイスレチクルやレチクルフィデューシャルマーク板に形成される。なお、擬似ボックスパターンの細分化は、例えば $2.5\mu m$ L/S 程度（ウエハ上 $0.5\mu m$ L/S 程度）以下が望ましい。

【0164】次に、投影光学系のコマ収差の計測方法について説明する。コマ収差の計測は、L/S マークを計測用パターンとして用いる第1の方法と、Line in Box マークを計測用パターンとして用いる第2の方法とが代表的に挙げられる。

【0165】（第1の方法）焼き付け法により、コマ収差を測定する場合に、解像限界付近の小L/S マーク像の線幅異常値を用いる方法が知られている。ここで、線幅異常値とは、焼き付けによって形成されるレジスト像の非対称の度合いを表す指標となる値である。例えば、図19に示される $0.2\mu m$ L/S マーク（設計値）のレジスト像を例にとって説明すると、線幅異常値Aは、両端のラインパターンの線幅L1, L5を用いて、次の（4）式のように定義される。

【0166】

【数3】

$$A = \frac{L1 - L5}{L1 + L5} \quad \dots(4)$$

【0167】Aは通常3%未満が投影光学系（投影レンズ）に望まれる性能である。

【0168】空間像計測においてもこのようなL/Sパターン像の線幅異常値を直接計測することが出来る。この場合は、先に説明したスライス法によるエッジ検出の手法を用いれば良いが、スライスレベルの決定に当たって、空間像に対応する光強度信号を適当な閾値（スレッシュ

10

シヨルドレベル）で2値化し、レジスト像の線幅に近づけるという簡単なレジスト像シミュレーションを行うことにより、その閾値をスライスレベルとして決定することが望ましい。

【0169】以下、この線幅異常値の計測によるコマ収差の計測方法について説明する。このコマ収差の計測には、例えば図20に示されるように、パターン領域PAの中心と4角の部分の合計5箇所

20

に計測用パターンDM₁～DM₅が形成された計測用レチクルR4が用いられる。計測用パターンDM₁～DM₅としては、ライン幅1

30

μm（ウエハ面上で0.2μm）でデューティ比50%のX軸方向に周期性を有するL/Sパターンが用いられる。また、この場合、空間像計測器59を構成するスリット板90及び空間像計測器59の構成等は、前述した倍率・ディストーション計測の際と同じ構成となっている。

【0170】この場合、主制御装置20では、前述した倍率・ディストーション計測の際と同様の手順で、レチクルアライメント、及び空間像計測を行って、計測用パターンDM₂～DM₅の空間像（DM₂'～DM₅'とする）に対応する光強度信号m(x)を得る。

【0171】そして、この得られた各光強度信号m(x)と所定のスライスレベルとの交点をそれぞれ求め、その求められた交点のX座標から空間像DM₂'～DM₅'のそれぞれについて各ラインのライン幅を求め、このライン幅に基づいてそれぞれの線幅異常値を（4）式に基づいて算出し、この算出結果に基づいて投影光学系PLのコマ収差を求める。

【0172】コマ収差は、レンズの種々の輪帯で倍率が異なることによるレンズの収差であり、投影光学系PLのイメージフィールド内の主軸から離れた部分に生じる。従って、光軸から離れた位置では、L/Sパターンの空間像の内、各ラインパターンの線幅はコマ収差に応じて異なることになる。従って、スライス法を用いてエッジ検出の手法により各ラインパターンの線幅異常値を検出する上記方法によると、コマ収差を精度良く、かつ容易に計測することが可能となる。

【0173】なお、各計測用パターンDM₁～DM₅が5本のラインパターンを含む単独のL/Sパターンであるため、線幅異常値の計測精度が不十分である場合には、

50

各計測用パターンとして、5本のL/Sパターンが所定周期で複数組み配置された複合マークパターンを、各計測用パターンとして用いても良い。図21には、このような複合マークパターンが計測用パターン（EMと呼ぶ）として用いられる場合に、スリット板90上に計測用パターンEMの空間像EM'が形成された様子が示されている。

【0174】この空間像EM'は、図22に示されるように、2つの基本的な周波数成分、すなわち光電変換信号の各ラインパターンのピッチに対応する0.4μmピッチの周波数成分（第1基本周波数成分）f₁と、各L/Sパターンの全体の幅に対応する第2基本周波数成分、すなわち、ここでは、各L/Sパターンの繰り返し周期（5本のマークからなるマークグループの配置ピッチ）である3.6μmピッチに対応する周波数成分f₂とを有する。

【0175】従って、前述と同様に、主制御装置20では、前述した倍率・ディストーション計測の際と同様の手順で、レチクルアライメント、及び空間像計測を行って、計測用パターンEM₂～EM₅の空間像（EM₂'～EM₅'とする）に対応する光強度信号m(x)を得た場合に、各光強度信号の第1基本周波数成分と、第2基本周波数成分との位相差を前述した位相検出の手法により算出し、該算出結果に基づいて投影光学系PLのコマ収差を求めることとしても良い。

【0176】空間像計測の対象となるパターンの走査方向の幅が狭いほど、コマ収差の影響を大きく受けるので、L/Sパターンの各ラインパターンの空間像に対するコマ収差の影響と、L/Sパターンの全体を1つのパターンと見た場合のそのパターンの空間像に対するコマ収差の影響とは相違する。従って、光電変換信号の各ラインパターンのピッチに対応する第1基本周波数成分と、L/Sパターンの全体の幅に対応する第2基本周波数成分との位相差を算出し、該算出結果に基づいて投影光学系PLのコマ収差を求める上記方法によると、位相検出の手法により、投影光学系PLのコマ収差を精度良く求めることができる。なお、この場合マークの配置ピッチ（上の例では0.4μm）と5本のマークからなるマークグループの配置ピッチ（上の例では3.6μm）の比率は整数倍とすることが信号処理上からは望ましい。

【0177】（第2の方法）次に、コマ収差の第2の測定方法について説明する。この方法では、図23（A）に示されるように、パターン領域PA内の中心及び4角の部分の合計5箇所に計測用パターンFM₁～FM₅が形成された計測用レチクルR5が用いられる。計測用パターンFM_n（n=1、2、……、5）としては、図23

（B）に拡大して示されるようなLine in Box Markと呼ばれるマークパターンが用いられる。このマークパターンは、図23（B）に示されるように、1辺がD1（例えばD1=150μm）の正方形パターンの内部に、同

心でかつ1辺が D_2 （例えば $D_2 = 100 \mu\text{m}$ ）の正方形のスペースパターン（幅 D_3 ）が形成されたマークパターンである。この計測用パターン FM_n をウエハ上に焼き付け、現像すると、 $30 \mu\text{m}$ 角のレジスト残しマークの中心に $20 \mu\text{m}$ 角の細溝が同時に形成される。細溝は（波長 λ ／ $N.A.$ ）／2以下程度の太さとすることが望ましく、従って D_3 は、その5倍以下程度とすることが望ましい。例えば、 D_3 は、 $0.5 \mu\text{m}$ とされる。

【0178】このマーク計測用パターン FM_n を、コマ収差のある投影光学系で結像すると細線の方が太線よりも横ずれが大きく発生するため、細溝が偏心して対称性が崩れる。従って、その細溝の偏心量、すなわち対称性の崩れかたの程度を計測することにより、コマ収差の影響を知ることができる。

【0179】また、この場合、空間像計測器59を構成するスリット板90及び空間像計測器59の構成等は、前述した倍率・ディストーション計測の際と同じ構成となっている。

【0180】そこで、主制御装置20では、前述した倍率・ディストーション計測の際と同様の手順で、レチクルアライメント、及び空間像計測を行って、計測用パターン $FM_2 \sim FM_5$ の空間像（ $FM_2' \sim FM_5'$ とする）に対応する光強度信号 $m(x)$ を得る。

【0181】そして、各光強度信号と所定のスライスレベルとの交点に基づいて計測用パターンの空間像 $FM_2' \sim FM_5'$ の対称性のずれを算出し、該算出結果に基づいて投影光学系 PL のコマ収差を求める。

【0182】このようにスライス法を用いたエッジ検出の手法により、計測用パターン $FM_2 \sim FM_5$ の空間像の対称性のずれを算出し、その算出結果に基づいて投影光学系 PL のコマ収差を求める上記方法によると、投影光学系 PL のコマ収差を精度良く求めることができる。

【0183】上記の場合において、スリット板90上のスリット22a、22bの配置上、非計測方向のスリットが空間像と干渉する場合も考えられる。このような場合、上記計測用マーク FM_n に代えて、例えば線幅 $50 \mu\text{m}$ 程度の太いラインパターンと、例えば線幅 $0.5 \sim 0.75 \mu\text{m}$ 程度の細いラインパターンが計測方向に所定間隔（例えば、 $50 \mu\text{m}$ 程度）で並んだ左右対称の1次元マークを計測用パターンとして用いても良い。

【0184】図24には、このような計測用パターン（ GM_n とする）の空間像 GM_n' がスリット板90上に形成された状態が示されている。この図24において、 D_4 は $10 \mu\text{m}$ 、 D_5 は $0.1 \sim 0.15 \mu\text{m}$ である。このような空間像 GM_n' に対応する光強度信号を、前述したスライス法によるエッジ検出の方法により検出することにより、投影光学系 PL のコマ収差を検出しても良い。

【0185】走査方向（計測方向）の幅が細いラインパターンの空間像ほどコマ収差の影響により大きく位置ず

れする結果、計測用パターン（ GM_n ）のように、走査方向に対応する方向に所定間隔で配置された線幅の異なる複数種類のラインパターンを有する対称マークパターンの空間像は、コマ収差が大きいほどその対称性が大きくずれる。

【0186】そのため、上記の空間像 GM_n' の対称性のずれを検出する方法によると、投影光学系 PL のコマ収差を精度良く検出することができる。

【0187】勿論、この場合も、計測再現性を向上するため、図25のような繰り返し配置された計測用パターンの空間像 HM' を検出することとしても良い。

【0188】次に、照明テレセンの測定方法について説明する。

【0189】照明テレセンは像位置がデフォーカスによって変化する量を測定して決定する。計測用パターンとしては、倍率、ディストーション測定と同様にコマ収差の影響を受けない大きなマークパターンが用いられる。焼き付け法による場合は、Boxin Box Markあるいは大 L/S マークが用いられ、ベストフォーカス位置、 $+1 \mu\text{m}$ 程度のデフォーカス位置、 $-1 \mu\text{m}$ 程度のデフォーカス位置の3点で、それぞれ露光を行い、像位置とフォーカス位置の関係を計測し、照明テレセン（＝（像の横ずれ量／デフォーカス量））を計算することが行われる。

【0190】空間像計測の場合は、焼き付けと同様にコマ収差の影響を受けない大きなマークを用い、空間像の絶対位置を各フォーカス位置で計測し、照明テレセンを計算する。

【0191】以上詳細に説明したように、本第1の実施形態の露光装置100によると、スリット幅 $2D = n \cdot (\lambda / N.A.)$ 、 $n \leq 0.8$ であるスリット板90を有する空間像計測器59を備えていることから、この空間像計測器を用いてレチクルあるいはレチクルフィデュールマーク板上の計測用パターンの空間像計測を行うことにより、空間像→空間像強度信号の変換の際に像プロファイルの劣化の少ない高精度な空間像計測が可能となる。この場合、光センサ24（光電変換素子）以降の信号処理系には大きなダイナミック・レンジが不要となる。

【0192】また、露光装置100では、主制御装置20が、空間像計測器59を用いて前述のスリットスキャン方式による空間像の計測、及びこの計測結果を用いての前述したような投影光学系 PL の種々の結像特性の計測を、高精度に行うことができる。そのため、この結像特性の計測結果に基づいて、例えば工場内における露光装置の立ち上げ時等に投影光学系 PL の光学性能の調整を高精度に行うことができる。あるいは、特にディストーションや倍率等については、定期的に上記の計測を行い、この計測結果に基づいて投影光学系 PL の不図示の結像特性補正装置（例えば、投影光学系を構成する特定のレンズエレメントを Z ・チルト駆動する装置、あるい

は投影光学系を構成する特定のレンズ間に設けられた気密室の内圧を調整する装置など）を用いて、ディストーションや倍率（特に走査露光時の非走査方向）等を補正することができる。なお、走査露光時の走査方向の倍率の補正は、例えば、走査露光時のレチクルとウエハの少なくとも一方の走査速度を調整することにより行われる。

【0193】このように、露光装置100では、例えば投影光学系の結像特性の初期調整、あるいは、露光開始に先立って投影光学系の結像特性の調整により、高精度に結像特性が調整された投影光学系PLを用いて、露光が行われるので、結果的に露光精度の向上が可能となる。

【0194】また、露光装置100では、主制御装置20により、空間像計測器59を用いて、マーク検出系としてのアライメント顕微鏡ALG1のベースライン量の検出が精度良く行われるので、そのベースライン量を用いて、露光時等にウエハWの位置を制御することにより、レチクルとウエハとの重ね合せ精度の向上が可能であり、この点においても露光精度の向上が可能となっている。

【0195】なお、上記実施形態では、スリット幅2Dが、照明光の波長 λ と投影光学系PLの開口数N.A.との両者を考慮して決定されている場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではない。

【0196】すなわち、スリット幅2Dを、波長 λ 、開口数N.A.のいずれか一方のみを考慮して定めても良い。このようなスリット幅2Dのスリットを有するスリット板を備えた空間像計測器を用いても、上記実施形態と同様に、スリットスキャン方式により、所定パターンの空間像（像強度の分布）の精度の高い計測が可能である。

【0197】次に、スリット幅（2D）の決定に関して更に説明する。ここでは、一例として、フォーカス計測の場合を採り上げて好適なスリット幅の決定方法に関して説明する。

$$N \propto S^{1/2} \cdot \text{DOF} \propto \lambda \cdot S^{1/2} / (N.A.)^2 \quad \dots\dots (5)$$

の関係がある。ここで、N.A.は、投影光学系の開口数である。

$$S/N \propto (N.A.)^2 \cdot S^{1/2} / \lambda \propto \lambda \cdot S^{1/2} / P \quad \dots\dots (6)$$

の関係が成り立つ。ここで、 S/N は、一次成分の振幅とノイズ振幅との比である S/N 比である。

【0204】(2) ダーク・ノイズが支配的な場合
ダーク・ノイズは1次成分の振幅Sに依存しない。1次★

$$N \propto \text{DOF} \propto \lambda / (N.A.)^2 \quad \dots\dots (7)$$

の関係がある。

$$S/N \propto (NA)^2 \cdot S / \lambda \propto \lambda \cdot S / P \quad \dots\dots (8)$$

の関係がある。

【0206】(6)、(8)式よりスリット幅（2D）を最適にする際には、波長と対象パターン・ピッチが決

* 【0198】前述の如く、投影光学系のベストフォーカス位置の計測は、スリット板90のZ軸方向（光軸方向）の位置を変化させつつ、計測用パターンの空間像計測をスリットスキャン方式により複数回繰り返し、これにより得られた光強度信号の（1次/0次）の振幅比であるコントラストが最大となるスリット板90のZ位置（コントラストピークのZ座標）を検出することにより求める。

10 【0199】通常、ベストフォーカスの検出に際しては、スリット板90を、0.15 μm のピッチ間隔で、15段階（ステップ）程度変化させる。

20 【0200】ここで、図26を用いて上記のベストフォーカス検出の一例について説明する。この図26は、スリット板90を13段階（ステップ）でZ軸方向に変化させ、各点で得られた13点のコントラストの計測値（図26中の×印）を横軸をZ軸として示すものである。図26中に×印で示される13点のコントラストの計測値に基づいて、4次程度の近似曲線Cを最小二乗法によって求める。この近似曲線Cと、適当な閾値（スレッシュホールドレベル）SLとの交点を求め、交点間の距離＝2Bの中点をベストフォーカスに対応するZ座標値とする。

【0201】図27には、図26と同様の線図が示されている。但し、この図27では縦軸は、1次成分の振幅（又は後述するファースト・オーダー）を示す。ここで、図27におけるWZ（＝ステップピッチ×データ数）の範囲を固定にした時のフォーカス検出精度を考える。

30 【0202】(1) ショットノイズが支配的な場合
1次成分の振幅をSとすると、ショットノイズは $S^{1/2}$ に比例する。1次周波数成分（以下、適宜「1次成分」と略述する）の振幅のZに関する曲線の平均傾きは焦点深度（DOF）に反比例するので、各1次成分の振幅のノイズがデータのZ方向へ及ぼす揺らぎをノイズNとすれば、

* 【0203】しかるに、対象パターンの線幅をPとする
と、 $P \propto \lambda / N.A.$ の関係があるので、

★成分の振幅のZに関する曲線の平均傾きはDOFに反比例するので、各1次成分の振幅のノイズがデータのZ方向へ及ぼす揺らぎをノイズNとすれば、

☆ ☆ 【0205】従って、対象パターンの線幅をPとして、
定していれば、1次成分の振幅Sのみに着目すれば良

く、 S/N 比は、ノイズの性質によって1次振幅Sの0.5～1乗に比例することがわかる。

【0207】図28(A)～図31(B)には、スリット幅(2D)の好ましい範囲を求めるためのシミュレーション結果の一例が示されている。このうち、図28(A)、図29(A)、図30(A)及び図31(A)は、 $N.A. = 0.68$ 、 $\lambda = 248\text{ nm}$ 、 $\sigma = 0.85$ の条件の場合を示す。また、図28(B)、図29(B)、図30(B)及び図31(B)は、 $N.A. = 0.85$ 、 $\lambda = 193\text{ nm}$ 、 $\sigma = 0.85$ の条件の場合を示す。

【0208】図28(A)、(B)は、フォトマルチプライヤを用いた例を想定して(6)式を適用した場合のフォーカス検出に関するS/N比を示す。図28(A)において、実線(●)、破線(■)、点線(▲)は、計測用パターンとして、ライン幅Lがそれぞれ200 nm、220 nm、250 nmで、デューティ比がいずれも50%のL/Sパターンを用いた場合を、それぞれ示す。図28(B)において、実線(●)、破線(■)、点線(▲)は、計測用パターンとして、ライン幅Lがそれぞれ120 nm、130 nm、140 nmで、デューティ比がいずれも50%のL/Sパターンを用いた場合を、それぞれ示す。

【0209】図29(A)、(B)は、図28(A)、(B)にそれぞれ対応するコントラストを示す。コントラストは、スリット幅が小さいほど大きくなる。0次の振幅はスリット幅に比例するので、コントラストに0. *

$$m(x) = \int_{-D}^{+D} I(t) dt \quad \dots(9)$$

【0216】フォーカス検出は解像限界のL/Sの強度像の0次、1次の比(コントラスト)より計算する。空間像の強度像に含まれる0次成分の強度をa、1次成分の強度を $b \cdot \sin(\omega_1 \cdot x)$ とすれば、観測されるスリット透過強度 $m_0(x)$ 、 $m_1(x)$ は次の(10)、(11)式のようになる。但し、 ω_1 は、解像限界の空間周波数である。

【0217】

【数5】

$$m_0(x) = a \int_{-D}^{+D} dt = 2aD \quad \dots(10)$$

$$\omega_1 D = \pi / 2 \cdot (2n - 1)$$

(但し、 $n = 1, 2, 3, \dots$)

【0221】(12)式を満足するとき、 $D = \pi / (2\omega_1)$ の奇数倍のときに、1次成分のゲインが最大となる(コントラストが最大となる)ので、スリット幅2Dが π / ω_1 の奇数倍となるとき、すなわち最小マークピッチの半分(以下、適宜「最小ハーフピッチ」と呼ぶ)の奇数倍であることが望ましい。

【0222】また、1次成分のゲインが高く、0次成分のゲインが低いほど電気系のダイナミックレンジは楽になるので、結局、(12)式で $n = 1$ の場合、すなわち

* $3\text{ }\mu\text{m}$ を基準としたスリット幅の比率を乗じたものがファースト・オーダー(1st Order)である。これは1次成分の振幅に比例する。

【0210】図30(A)、(B)には、図28(A)、(B)にそれぞれ対応するファースト・オーダーが、示されている。

【0211】図28(A)、(B)から、結果的にいずれの波長、線幅の場合でも、フォーカス検出に最適なスリット幅(2D)は、パターンピッチ(=2L)の半分と同じ長さが最適であることが判明した。ピッチに関しては小さい程良いが、勿論解像限界以内であることが必須である。従って、スリット幅の最適値は露光装置の解像限界ピッチの半分程度となる。

【0212】図31(A)、(B)は、図28(A)、(B)と同一条件で、(8)式を適用した場合のフォーカス検出に関するS/N比を示す。

【0213】ここで、スリット幅2Dの最適化について、更に別の観点から説明する。

【0214】空間像計測器のスリットの幅2D、空間像の強度分布を $i(x)$ とするとスリット透過強度 $m(x)$ は、前述した(1)式を一般化した次の(9)式で表される。

【0215】

【数4】

※ 【0218】

【数6】

$$m_1(x) = b \int_{-D}^{+D} \sin(\omega_1 t) dt = \frac{2b}{\omega_1} \sin(\omega_1 x) \cdot \sin(\omega_1 D) \quad \dots(11)$$

【0219】(10)式より、0次成分はスリット幅に単純に比例し、(11)式より1次成分は、次の(12)式の条件を満足するときに最大になる。

【0220】

$$\dots\dots (12)$$

スリット幅2Dが π / ω_1 の場合、換言すれば最小ハーフピッチと一致する場合が最良である。

【0223】図32(A)、(B)には、スリット幅2Dが最小ハーフピッチの1倍のとき、3倍のときの、シミュレーションデータが、それぞれ示されている。これらの図において、実線の曲線LL1はスリット透過光の強度信号を示し、一点鎖線LL2はその微分信号を示し、破線LL3は空間像強度を示す。これらの図において、横軸はスリット位置であり、縦軸は信号強度である。

【0224】図33(A)、(B)には、スリット幅2Dが最小ハーフピッチの5倍のとき、7倍のときの、シミュレーションデータが、それぞれ示されている。これらの図において、実線の曲線LL1はスリット透過光の強度信号を示し、一点鎖線LL2はその微分信号を示し、破線LL3は空間像強度を示す。これらの図において、横軸はスリット位置であり、縦軸は信号強度である。

【0225】図32(A)、(B)及び図33(A)、(B)において微分信号LL1の振幅は、同一振幅となっていることがわかる。但し、スリット幅2D=最小ハ*

$$p(u) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \cdot \exp(-2\pi i u x) dx = 2D \frac{\sin(2\pi u D)}{2\pi u D} = 2D \frac{\sin(\omega D)}{\omega D} \dots (13)$$

【0228】図34には、解像限界の空間周波数を ω_1 として、スリット幅2Dが解像限界のハーフピッチの1, 3, 5倍の時の周波数特性が示されている。この図34において、符号GF5、GF3、GF1は、それぞれ、スリット幅が最小ハーフピッチの5倍、3倍、1倍の場合の周波数特性線図を示す。この図34から明らかのように、ゲイン(利得)の安定性の面でも、スリット幅が最小ハーフピッチに一致する場合(GF1)が、最良であることがわかる。

【0229】《第2の実施形態》次に、本発明の第2の実施形態について図35及び図36に基づいて説明する。ここで、前述した第1の実施形態に係る露光装置100と同一若しくは同等の構成部分については、同一の符号を用いるとともに、その説明を簡略化し若しくは省略するものとする。

【0230】図35には、この第2の実施形態に係る露光装置の構成が一部省略されて示されている。この露光装置110は、マーク検出系としてのアライメント光学系ALG2の構成のみが、露光装置100と相違する。そこで、以下においては、この相違点を中心として説明する。

【0231】このアライメント光学系ALG2は、図35に示されるように、投影光学系PLの側面に設けられたオフアクシス方式のレーザ・スキャン式アライメントセンサである。

【0232】このアライメント光学系ALG2は、図35に示されるように、アライメント用光源132、ハーフミラー134、第1対物レンズ136、第2対物レンズ138、シリコンフォトダイオード(SPD)140等を含んで構成されている。ここで、光源132としては、ヘリウム・ネオンレーザが用いられる。このアライメント顕微鏡ALG2では、図35に示されるように、光源132からレーザビームが、ハーフミラー134、第1対物レンズ136を介してウェハW上のアライメントマークMwを照明するためのレーザビームスポットを

*ーフピッチ×nのnが1, 3, 5, 7と大きくなるに従って、信号処理系(光センサ以降の処理系)により大きなダイナミックレンジが必要となることがわかる。これより、スリット幅2Dが最小ハーフピッチに一致する場合が最良であることがわかる。

【0226】また、前述した(1)、(2)式をフーリエ変換すると、スリットによる平均化効果の周波数特性が判明する。

【0227】

【数7】

形成する。レーザビームは通常固定されており、ウェハステージWSTを走査(スキャン)することによってレーザビームとアライメントマークMwとを相対走査する。

【0233】アライメントマークMwから発生する散乱光は第1対物レンズ136、ハーフミラー134、及び第2対物レンズ138を介してシリコン・フォトダイオードSPD140上に集光されて受光される。顕微鏡ALG2には、0次光フィルタが挿入されており暗視野になっており、アライメントマークMwの存在する位置だけで散乱光が検出される。そして、SPD140が受光した光の光電変換信号がSPD140から主制御装置20に供給される。主制御装置20では、この光電変換信号と、そのときのウェハ干渉計31の出力であるウェハステージWSTの位置情報とに基づいて、干渉計光軸で規定されるステージ座標系におけるアライメントマークMwの座標位置を算出するようになっている。

【0234】このようなステージスキャン・タイプのレーザ・スキャン式アライメントセンサのベースラインの安定性は、レーザのビーム位置の安定性と干渉計の安定性、及びSPD～電気系のゲインの安定性によって決定する。

【0235】ここで、このアライメント顕微鏡ALG2のベースラインの計測について説明する。前提として、レチクルRがレチクルステージRST上に搭載されているものとする。

【0236】まず、主制御装置20では、前述と同様にして、レチクルR上に形成されたレチクルアライメントマークPMの投影像を、空間像計測器59を用いて計測し、レチクルパターン像の投影位置を求める。すなわち、レチクルアライメントを行う。

【0237】次に、主制御装置20では、ウェハステージWSTを移動して、図36に示されるように、レーザビームスポットに対して空間像計測器59のスリット22を走査し、レーザ光の透過光の強度信号と同時にウェ

ハ干渉計 31 の計測値を取り込み、レーザビームプロファイルを得、それに基づいてビームスポットの位置を求める。これにより、レチクル R のパターン像の投影位置とアライメント光学系 A L G 2 のレーザスポット照射位置との相対位置、すなわちアライメント顕微鏡 A L G 2 のベースライン量を求める。

【0238】以上説明した本第 2 の実施形態に係る露光装置 110 によると、前述した第 1 の実施形態の露光装置 100 と、同等の効果を得ることができる。また、この場合も、主制御装置 20 により空間像計測器 59 を用いて、アライメント顕微鏡 A L G 2 のベースライン量が検出されるが、このベースライン量の検出に当たり、レチクルパターン像の投影位置及びアライメント顕微鏡 A L G 2 の位置を、空間像計測器 59 により直接的に計測することができるので、精度の高いベースライン量の計測が可能である。

【0239】なお、空間像計測器 59 のスリット板 90 上のスリットの配置は、前述したものに限らず、例えば図 37 (A) に示されるように、前述したスリット 22 a、22 b の組みに加え、X 軸に対して 45°、135° を成す方向にそれぞれ伸びるスリット 22 c、22 d の組みを加えても良い。勿論、これらのスリット 22 c、22 d の長手方向に垂直な方向のスリット幅 2D は、スリット 22 a、22 b と同様の基準により同様の寸法に定められる。

【0240】この場合、図 37 (A) に示されるように、矢印 C 方向に空間像計測器 59 (ウエハステージ W S T) を走査しつつ、例えば図 37 (A) に示される空間像 P M' に対してスリット 22 d を走査することにより、その空間像に対応する光強度信号を精度良く検出することができる。また、図 37 (B) に示されるように、矢印 D 方向に空間像計測器 59 (ウエハステージ W S T) を走査しつつ、例えば図 37 (B) に示される空間像 P M' に対してスリット 22 c を走査することにより、その空間像に対応する光強度信号を精度良く検出することができる。

【0241】なお、上記の 2 組のスリット (22 a、22 b)、(22 c、22 d) をスリット板 90 上に設ける場合、それら各組のスリットがある程度離して配置されるため、ウエハステージ W S T 内部の受光光学系及び光センサの構成として、各組のスリットを光学的あるいは電気的な選択機構によって選択できる構成を採用しても良い。具体的には、シャッタで光路が切り替え可能な受光光学系と単一の光電変換素子とを組み合わせても良いし、受光光学系及び光電変換素子を各組のスリットに対してそれぞれ設けても良い。

【0242】次に、像回復について説明する。

【0243】前述した (1)、(2) 式より、スリットスキャンによる平均化は、空間周波数的には $p(x)$ のフーリエ変換によりどのようなスペクトルかが判明す

る。これは一般に装置関数 $P(u)$ と呼ばれている。装置関数は前述した (13) 式で示される。

【0244】(13) 式の周波数特性の逆特性のフィルタ $P_{inv}(u)$ は次の (14) 式で示され、これを観測される空間像の強度信号 $m(x)$ のフーリエスペクトルに乗じてから逆フーリエ変換を行えば像回復が行われる。

$$P_{inv}(u) = 1/P(u) \quad \dots (14)$$

インコヒーレント結像の光学的伝達関数 (OTF) の上限が $2N.A./\lambda$ であるから完全な像回復のためには次の (15) 式を満たす必要がある。

【0245】

【数 8】

$$D < \frac{\lambda}{4N.A.} \quad \dots (15)$$

【0246】以上のような像回復の手法を用いれば、非常に細い孤立線の像プロファイルも回復できる。孤立線は様々な周波数成分を含んでおり、孤立線の空間像を複数のフォーカスで計測し、これらを用いてレンズの波面収差を計測することも考えられる。

【0247】また、繰り返しパターンである L/S マークを像回復することで、レンズの離散的な周波数成分の波面収差を測定することも考えられる。

【0248】これらの波面収差の測定に際しての空間像計測には、例えば図 37 (A) に示される 4 方向についての空間像の計測が可能な空間像計測器 59 を用いることが望ましい。

【0249】なお、上記各実施形態では、本発明がステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に適用された場合について説明したが、これに限らず、マスクと基板とを静止した状態でマスクのパターンを基板に転写するとともに、基板を順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート型の露光装置にも本発明は適用することができる。

【0250】また、上記各実施形態では、本発明が半導体製造用の露光装置に適用された場合について説明したが、これに限らず、例えば、角型のガラスプレートに液晶表示素子パターンを転写する液晶用の露光装置や、薄膜磁気ヘッドを製造するための露光装置などにも本発明は広く適用できる。

【0251】また、上記各実施形態では、露光用照明光として KrF エキシマレーザ光 (248 nm)、ArF エキシマレーザ光 (193 nm) などを用いる場合について説明したが、これに限らず、g 線 (436 nm)、i 線 (365 nm)、F₂ レーザ光 (157 nm)、銅蒸気レーザ、YAG レーザの高調波等を露光用照明光として用いることができる。

【0252】また、上記各実施形態では、投影光学系として縮小系を用いる場合について説明したが、これに限

らず、投影光学系として等倍あるいは拡大系を用いても良い。

【0253】また、ウエハステージやレチクルステージにリニアモータ（米国特許第5,623,853号又は米国特許第5,528,118号の公報参照）を用いる場合は、エアベアリングを用いたエア浮上型およびローレンツ力又はリアクタンス力を用いた磁気浮上型のどちらを用いても良い。

【0254】また、ステージは、ガイドに沿って移動するタイプでも良いし、ガイドを設けないガイドレスタイプでも良い。

【0255】ウエハステージの移動により発生する反力は、特開平8-166475号公報（米国特許第5,528,118号）に記載されているように、フレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がしても良い。

【0256】レチクルステージの移動により発生する反力は、特開平8-330224号公報（米国特許出願シリアルナンバー416558号）に記載されているように、フレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がしても良い。

【0257】複数のレンズから構成される照明光学系、投影光学系を露光装置本体に組み込み光学調整をするとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより本実施形態の露光装置を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0258】半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを製作するステップ、前述した実施形態の露光装置によりレチクルのパターンをウエハに転写するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。

【0259】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る空間像計測方法及び空間像計測装置によれば、十分な精度で空間像を計測することができるという効果がある。

【0260】また、本発明に係る結像特性計測方法によれば、投影光学系の結像特性を精度良く計測することができるという従来にない優れた効果がある。

【0261】また、本発明に係る露光装置によれば、露光精度の向上を図ることができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態に係る露光装置100の概略的な構成を示す図である。

【図2】図1のアライメント顕微鏡及び空間像計測器の内部構成を示す図である。

【図3】光センサをウエハステージの外部に配置した空間像計測器の変形例を示す図である。

【図4】アライメント顕微鏡によりウエハ上のアライメントマークを検出している様子を示す図である。

【図5】アライメント顕微鏡のベースラインの計測に際して、アライメント顕微鏡により空間像計測器のスリットを検出している状態を示す図である。

【図6】図6(A)は、空間像の計測に際してスリット板上に空間像PM'が形成された状態の空間像計測器を示す平面図、図6(B)はその空間像計測の際に得られる光電変換信号（光強度信号）Pの一例を示す線図である。

【図7】ライン幅0.2 μ m、デューティ比50%のL/Sマークの空間像を計測した場合に対応する結像シミュレーションの結果を示す線図であって、ベストフォーカス位置でのシミュレーション結果を示す線図である。

【図8】図7の強度信号P3をフーリエ変換した際の空間周波数成分を、元の強度信号P3とともに示す線図である。

【図9】ベストフォーカス位置から0.2 μ mデフォーカスした場合のシミュレーション結果を示す線図である。

【図10】図9の強度信号P3をフーリエ変換した際の空間周波数成分を、元の強度信号P3とともに示す線図である。

【図11】ベストフォーカス位置から0.3 μ mデフォーカスした場合のシミュレーション結果を示す線図である。

【図12】図11の強度信号P3をフーリエ変換した際の空間周波数成分を、元の強度信号P3とともに示す線図である。

【図13】像面形状の検出に際して用いられる計測用レチクルの一例を示す平面図である。

【図14】球面収差の検出に際して用いられる計測用レチクルの一例を示す平面図である。

【図15】倍率及びディストーション測定に際して用いられる計測用レチクルの一例を示す平面図である。

【図16】倍率及びディストーション測定に際して用いられる空間像計測器59を示す平面図である。

【図17】大きなL/Sパターンから成る計測用パターンが形成されたレチクルを用いて空間像計測を行う際に、スリット板上にその計測用パターンの空間像CM_n'が形成された状態の空間像計測器を示す平面図である。

【図18】擬似ボックスパターンその他の計測用パターンが形成されたマークブロックの一例を示す図である。

【図19】コマ収差の第1の計測方法を説明するための図であって、レジスト像の一例を示す図である。

【図20】コマ収差の第1の計測方法に用いられる計測用レチクルの一例を示す平面図である。

【図21】5本のL/Sパターンが所定周期で複数組み配置された複合マークパターンを、各計測用パターンとして用いた場合にその空間像EM'がスリット板上に形成されたときの空間像計測器を示す平面図である。

【図22】図21に示される空間像EM'が、2つの基本的な周波数成分を有することを説明するための図である。

【図23】図23(A)はコマ収差の第2の計測方法に用いられる計測用レチクルの一例を示す平面図、図23(B)は図23(A)の各計測用パターンを拡大して示す図である。

【図24】線幅の太いラインパターンと線幅の細いラインパターンが計測方向に所定間隔で並んだ左右対称の1次元マークから成る計測用パターンの空間像GM'がスリット板上に形成されたときの空間像計測器を示す平面図である。

【図25】図24の場合の1次元マークが繰り返し配置された計測用パターンの空間像HM'がスリット板上に形成されたときの空間像計測器を示す平面図である。

【図26】スリット板を13段階(ステップ)でZ軸方向に変化させ、各点で得られた13点のコントラストの計測値(×印)を横軸をZ軸として示す図である。

【図27】スリット板を13段階(ステップ)でZ軸方向に変化させ、各点で得られた13点の1次成分の振幅の値(×印)を横軸をZ軸として示す図である。

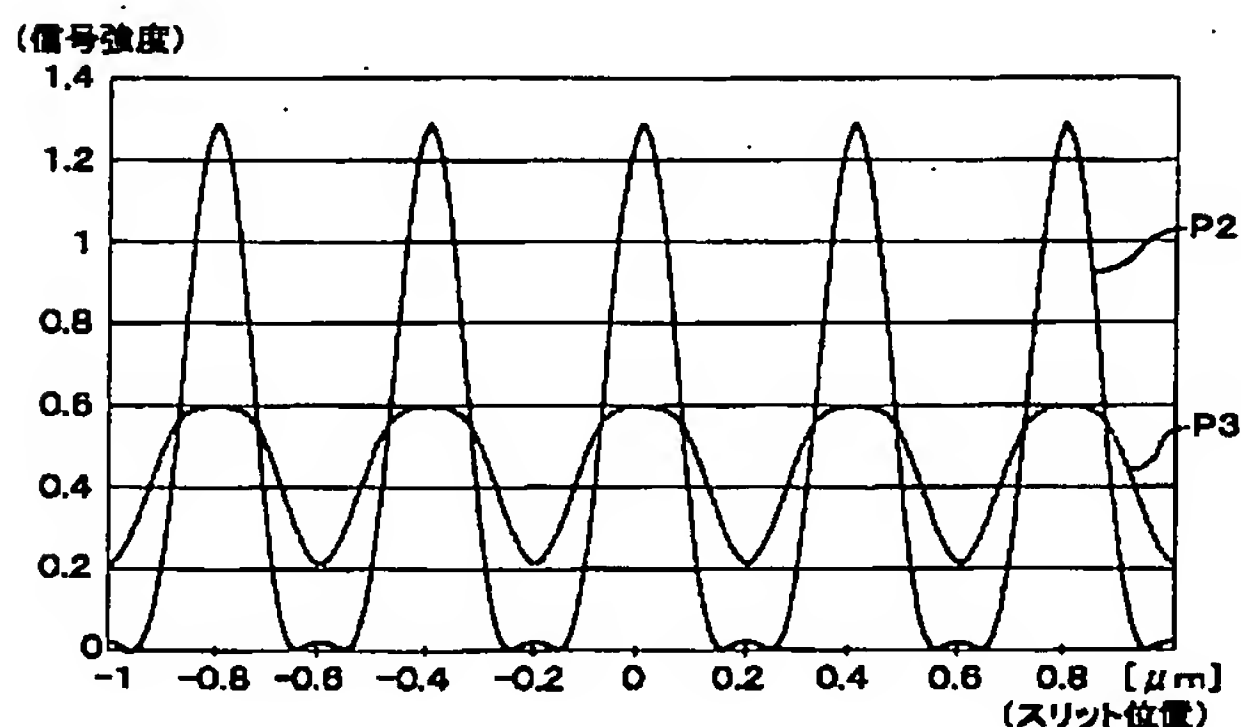
【図28】図28(A)、(B)は、それぞれ所定条件の下で、フォトマルチプライヤを用いた例を想定して(6)式を適用した場合の、フォーカス検出に関するS/N比を示すグラフである。

【図29】図29(A)、(B)は、図28(A)、(B)にそれぞれ対応するコントラストを示すグラフである。

【図30】図30(A)、(B)は、図28(A)、(B)にそれぞれ対応するファースト・オーダーを示すグラフである。

*

【図7】



* 【図31】図31(A)、(B)は、図28(A)、(B)と同一条件で、(8)式を適用した場合のフォーカス検出に関するS/N比を示すグラフである。

【図32】図32(A)、(B)は、スリット幅が最小ハーフピッチの1倍のとき、3倍のときの、スリット透過光の強度信号、その微分信号及び空間像強度のシミュレーションデータを、それぞれ示す図である。

【図33】図33(A)、(B)は、スリット幅が最小ハーフピッチの5倍のとき、7倍のときの、スリット透過光の強度信号、その微分信号及び空間像強度のシミュレーションデータを、それぞれ示す図である。

【図34】スリット幅が解像限界のハーフピッチの1, 3, 5倍の時の周波数特性を示す図である。

【図35】第2の実施形態に係る露光装置の構成を一部省略して示す図である。

【図36】第2の実施形態の露光装置において、アライメント顕微鏡ALG2のベースライン計測に際して、レーザービームスポットの位置を空間像計測器を用いて計測しているときの状態を示す図である。

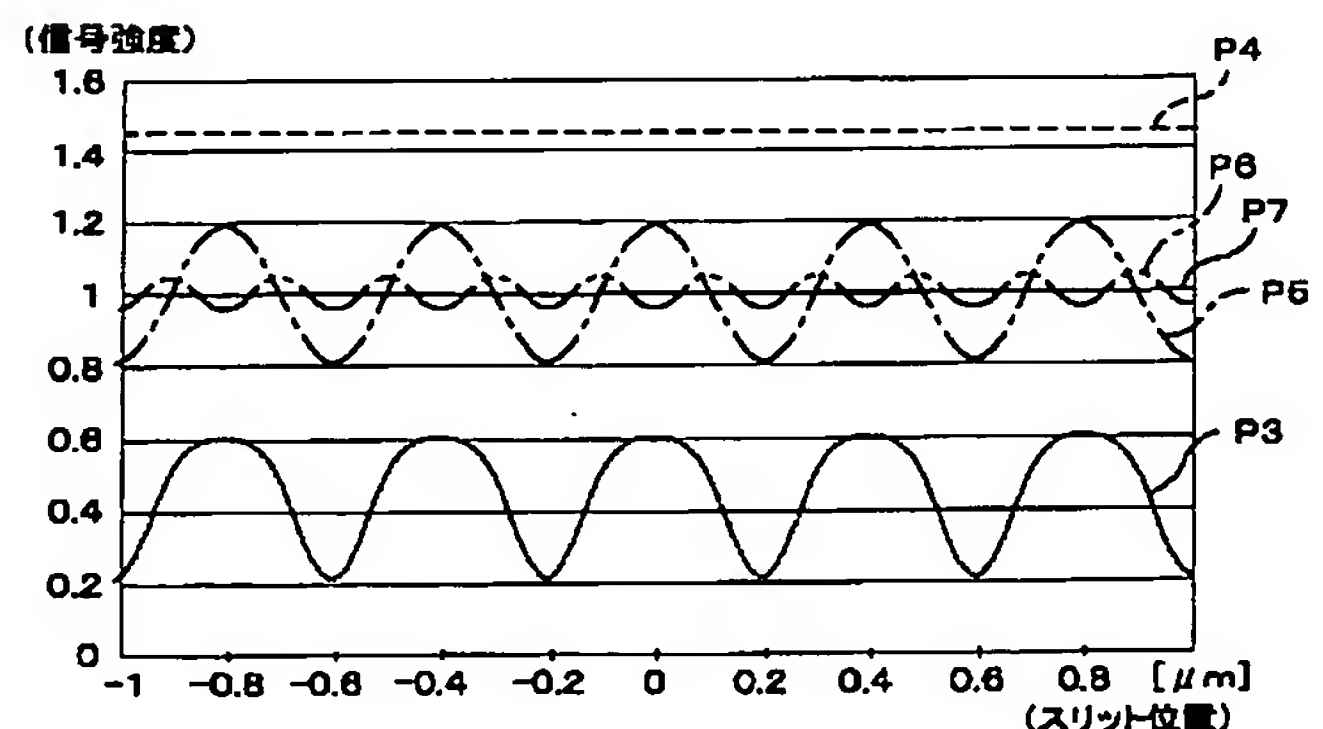
【図37】空間像計測器のスリット板上のスリットの他の配置例、及びそのようなスリットが形成された空間像計測器の使用方を説明するための図である(図37(A)、(B)。)

【図38】従来の空間像計測方法について説明するための図である(図38(A)~(C))。

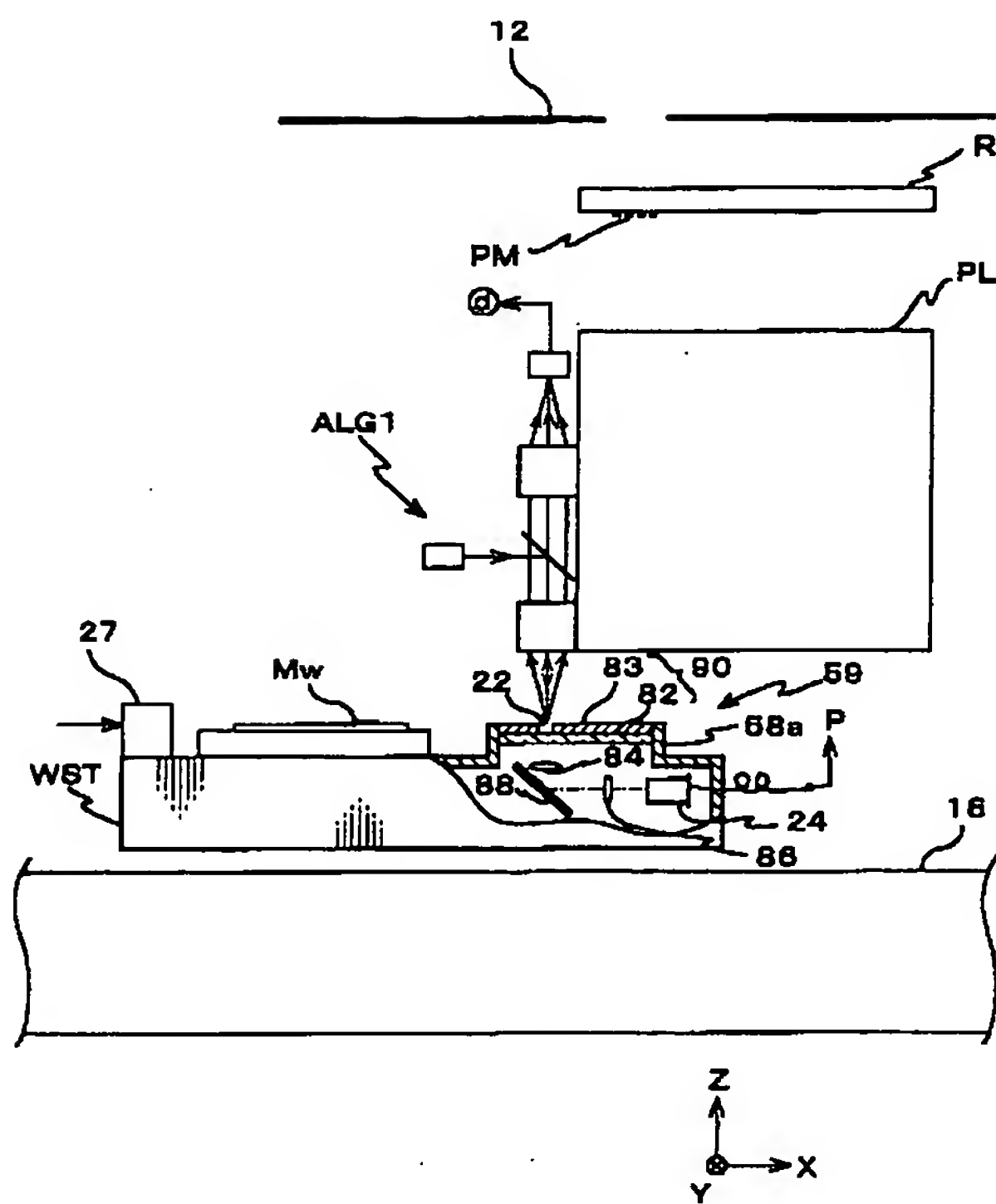
【符号の説明】

10…照明系(照明装置、空間像計測装置の一部)、20…主制御装置(制御装置、処理装置、空間像計測装置の一部)、22a~22d…スリット(空間像計測装置の一部)、24…光センサ(光電変換素子、空間像計測装置の一部)、90…スリット板(空間像計測装置の一部)、100…露光装置、PL…投影光学系、IL…照明光、R…レチクル(マスク)、W…ウエハ(基板)、WST…ウエハステージ(基板ステージ)、ALG1, ALG2…アライメント顕微鏡(マーク検出系)。

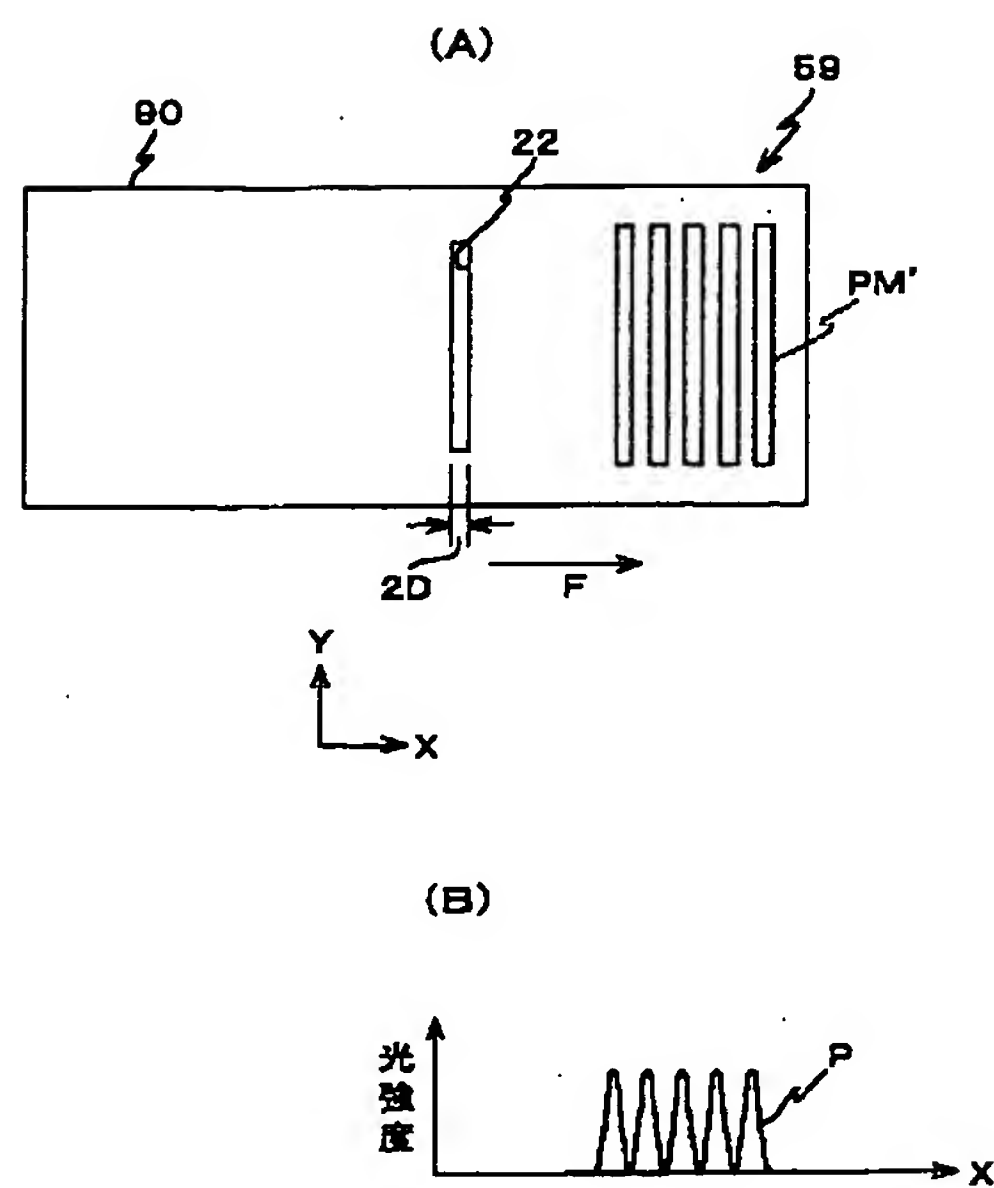
【図8】



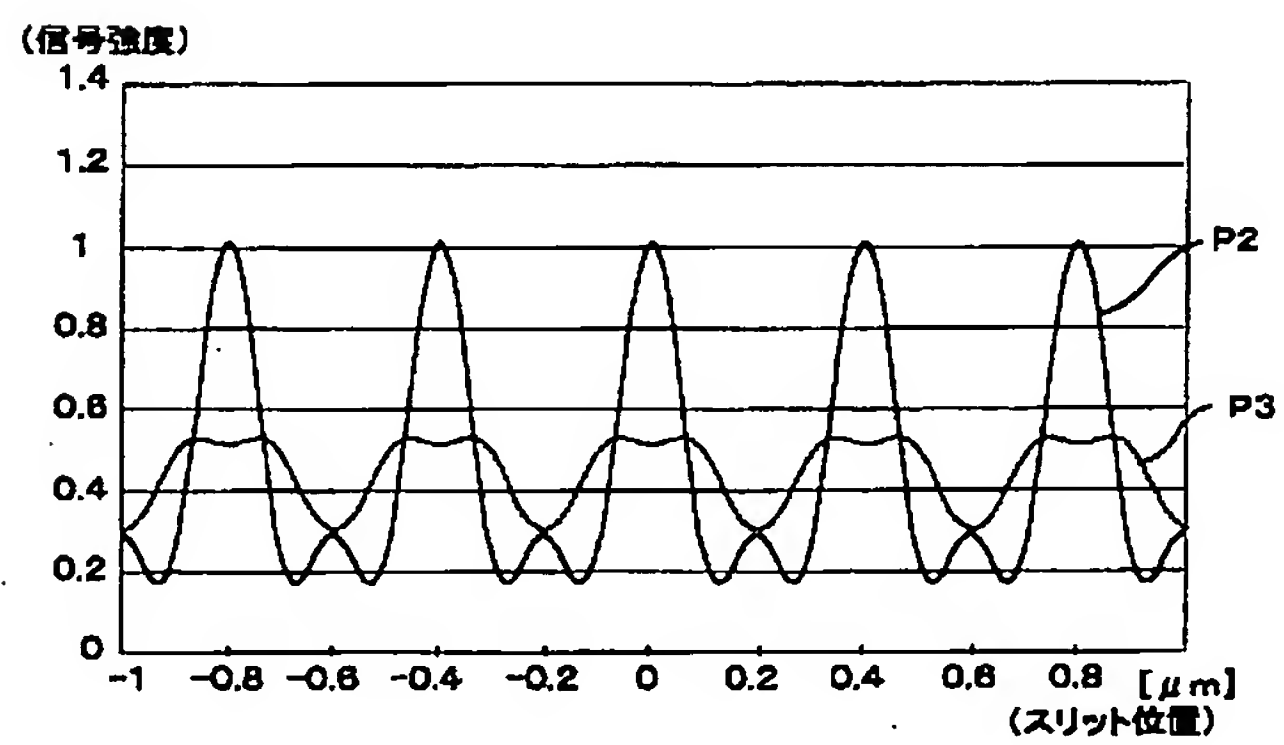
【図5】



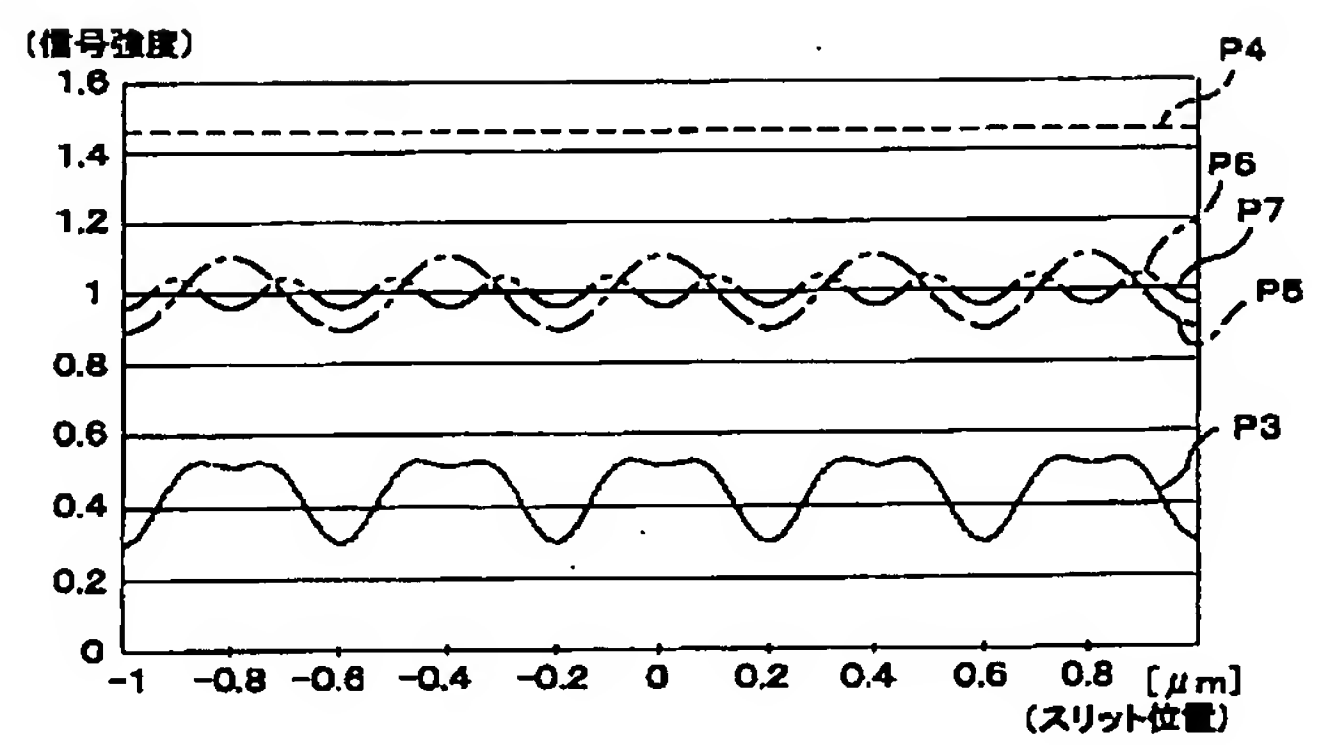
【図6】



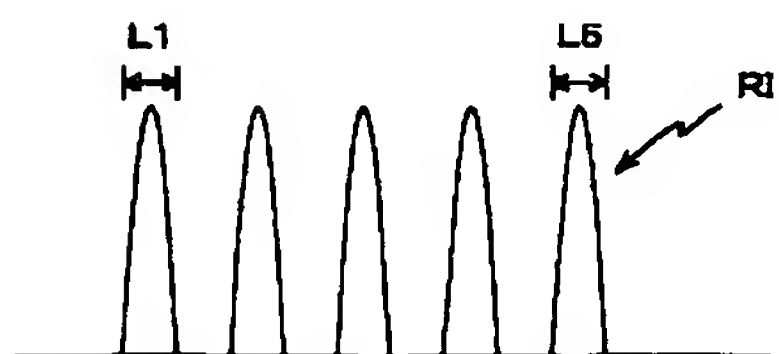
【図9】



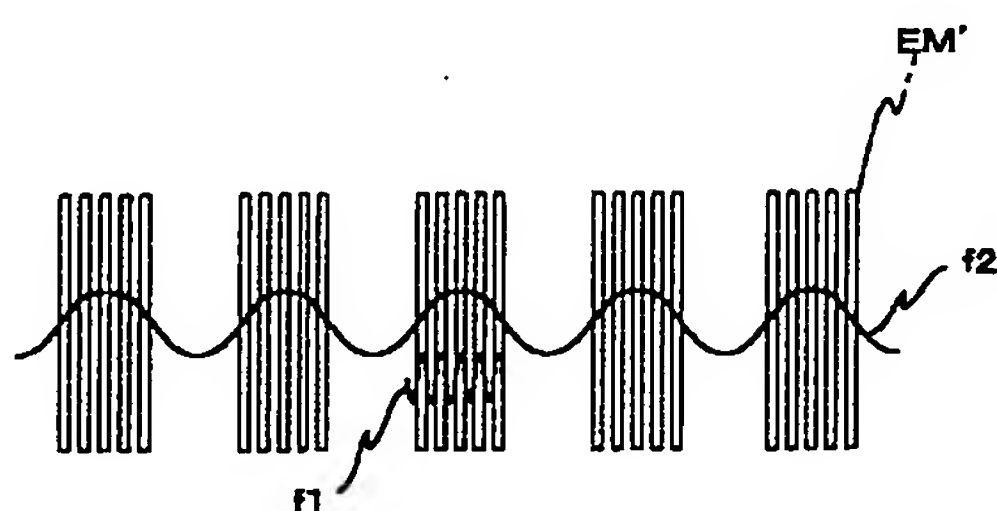
【図10】



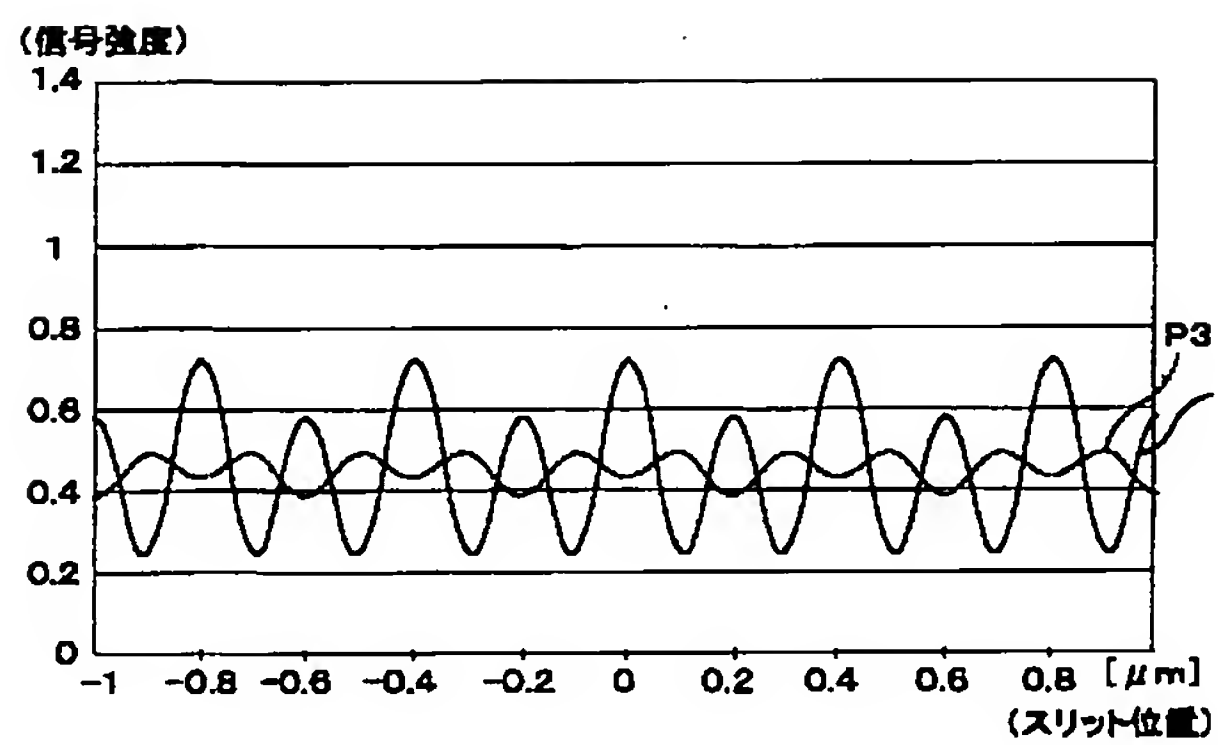
【図19】



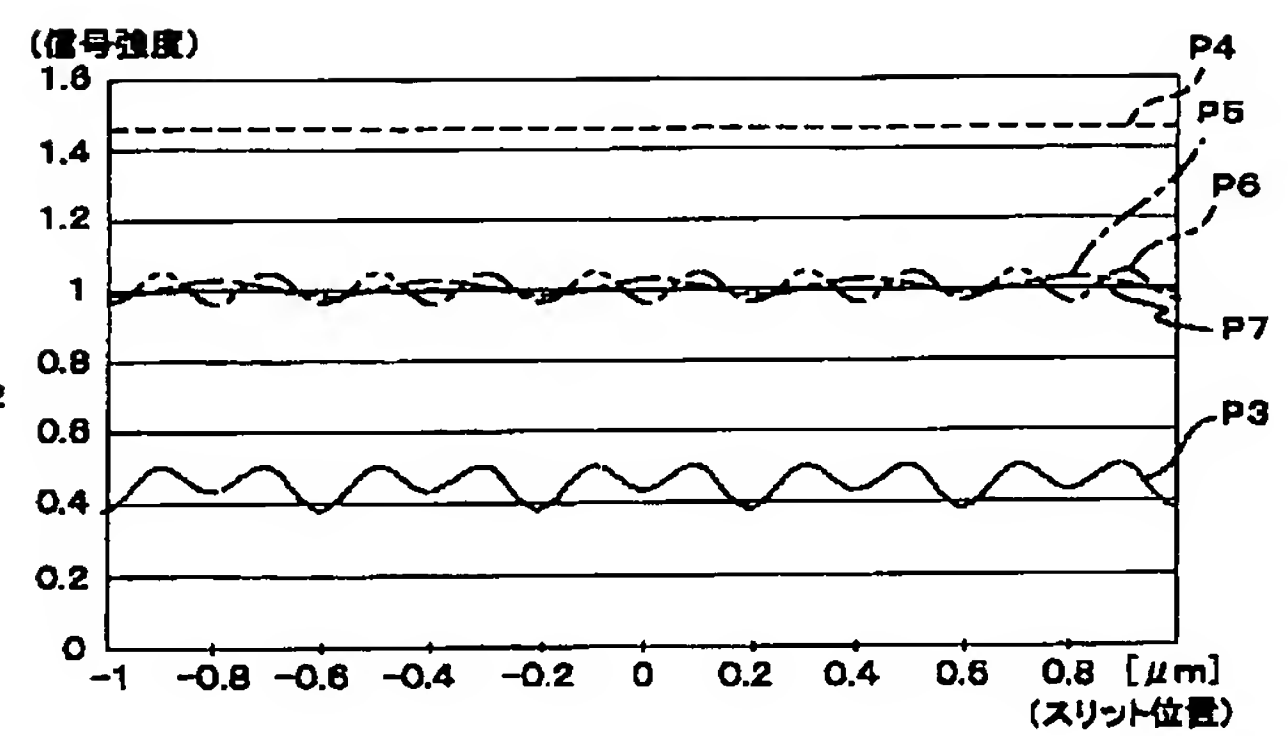
【図22】



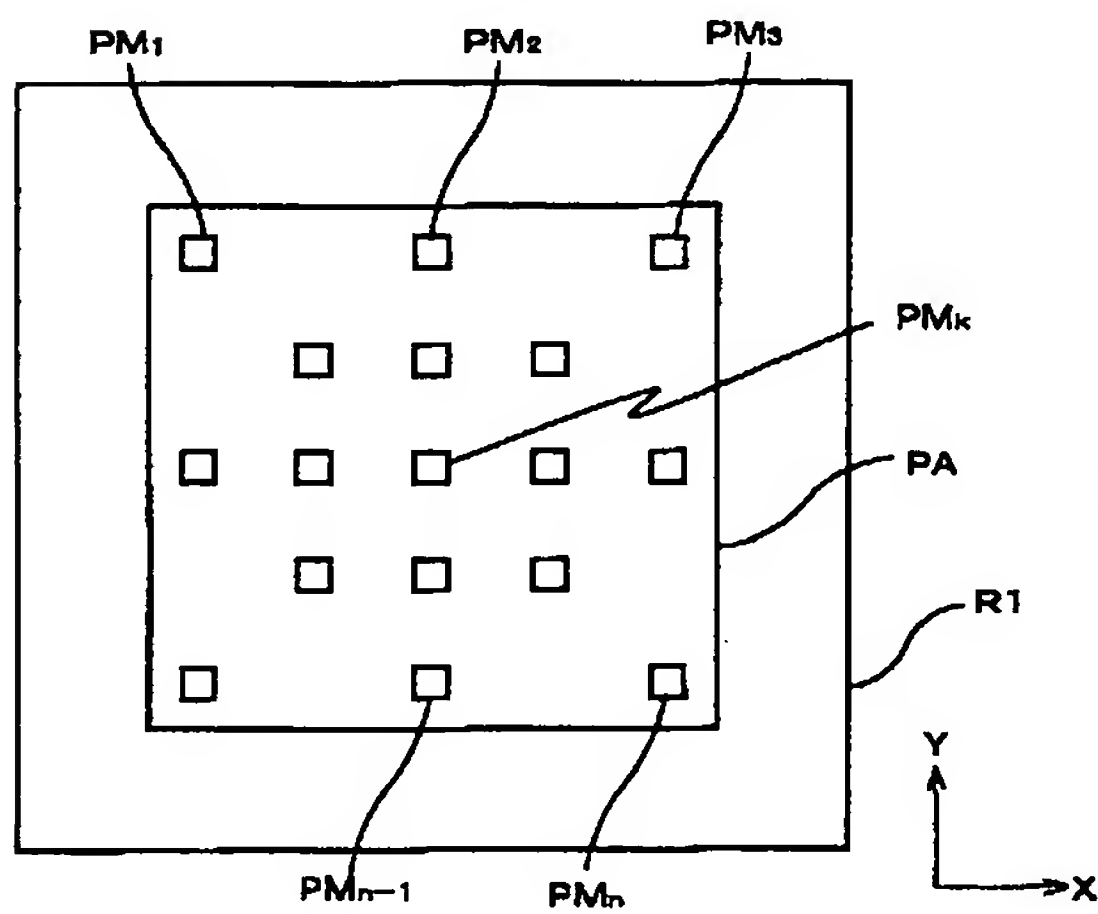
【図11】



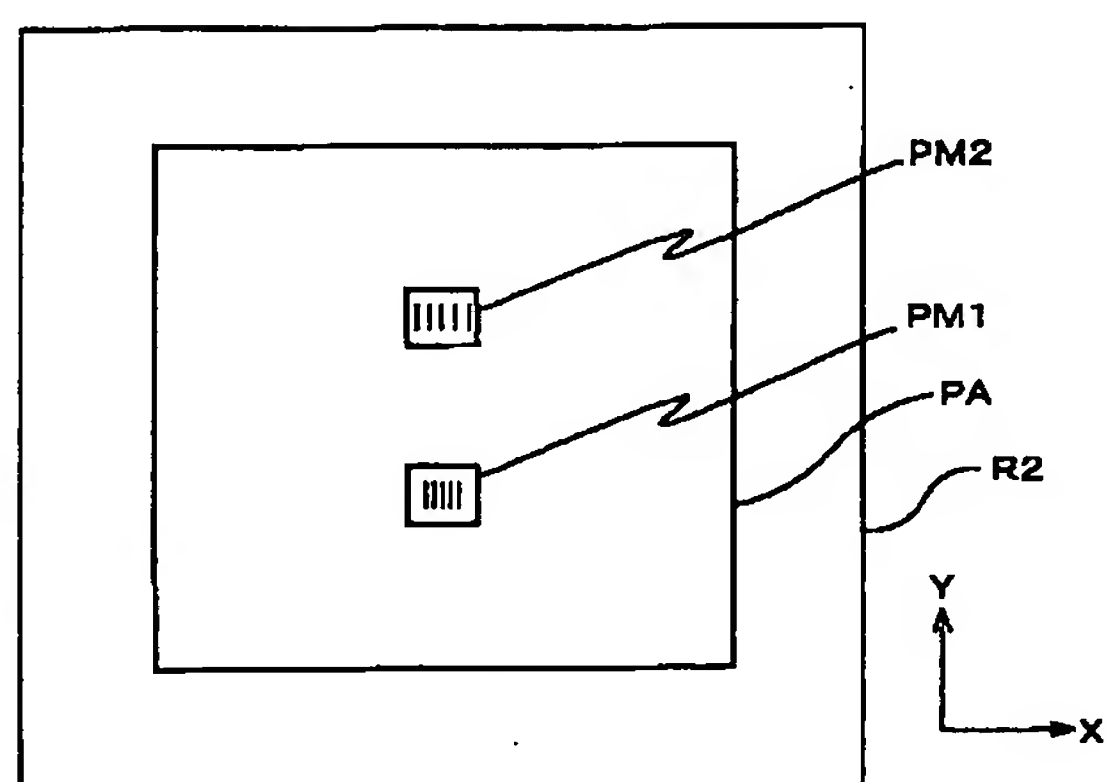
【図12】



【図13】

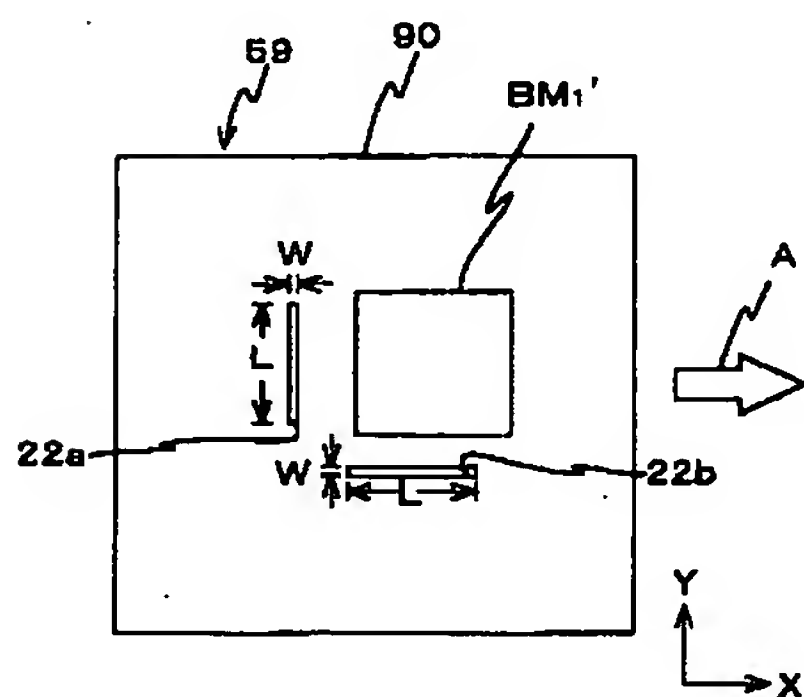


【図14】

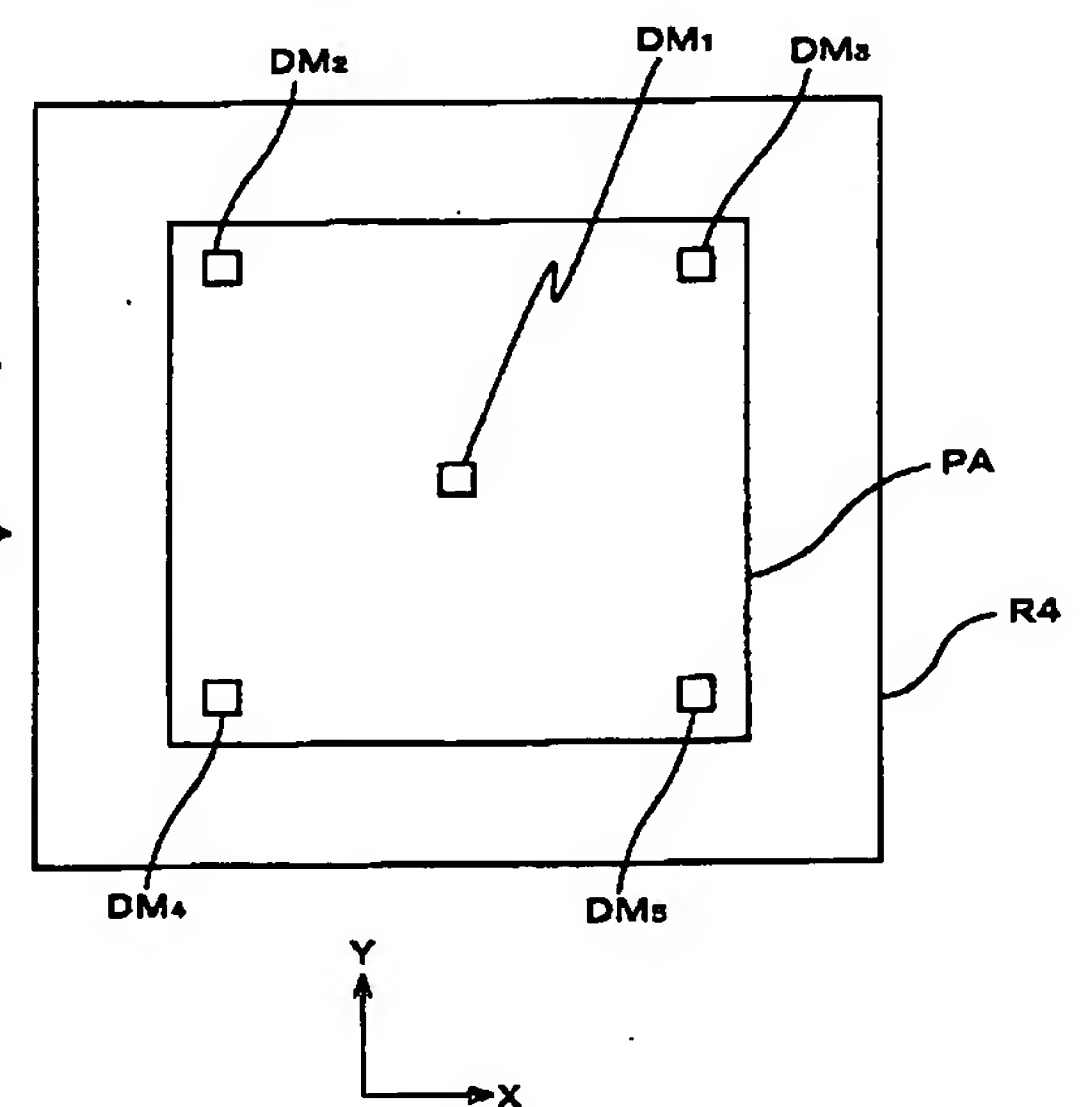
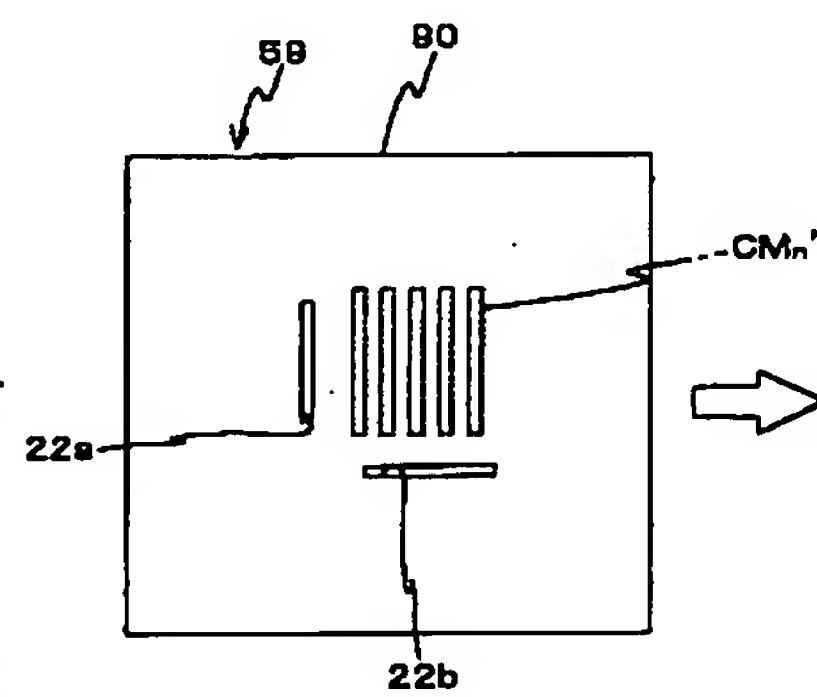


【図20】

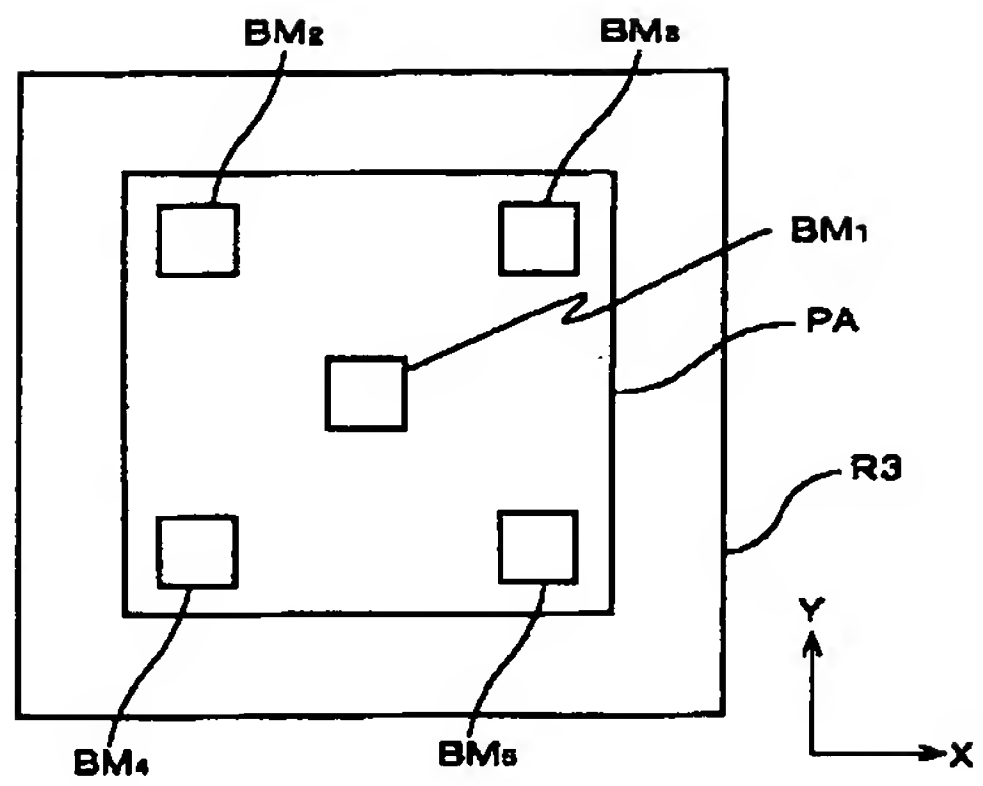
【図16】



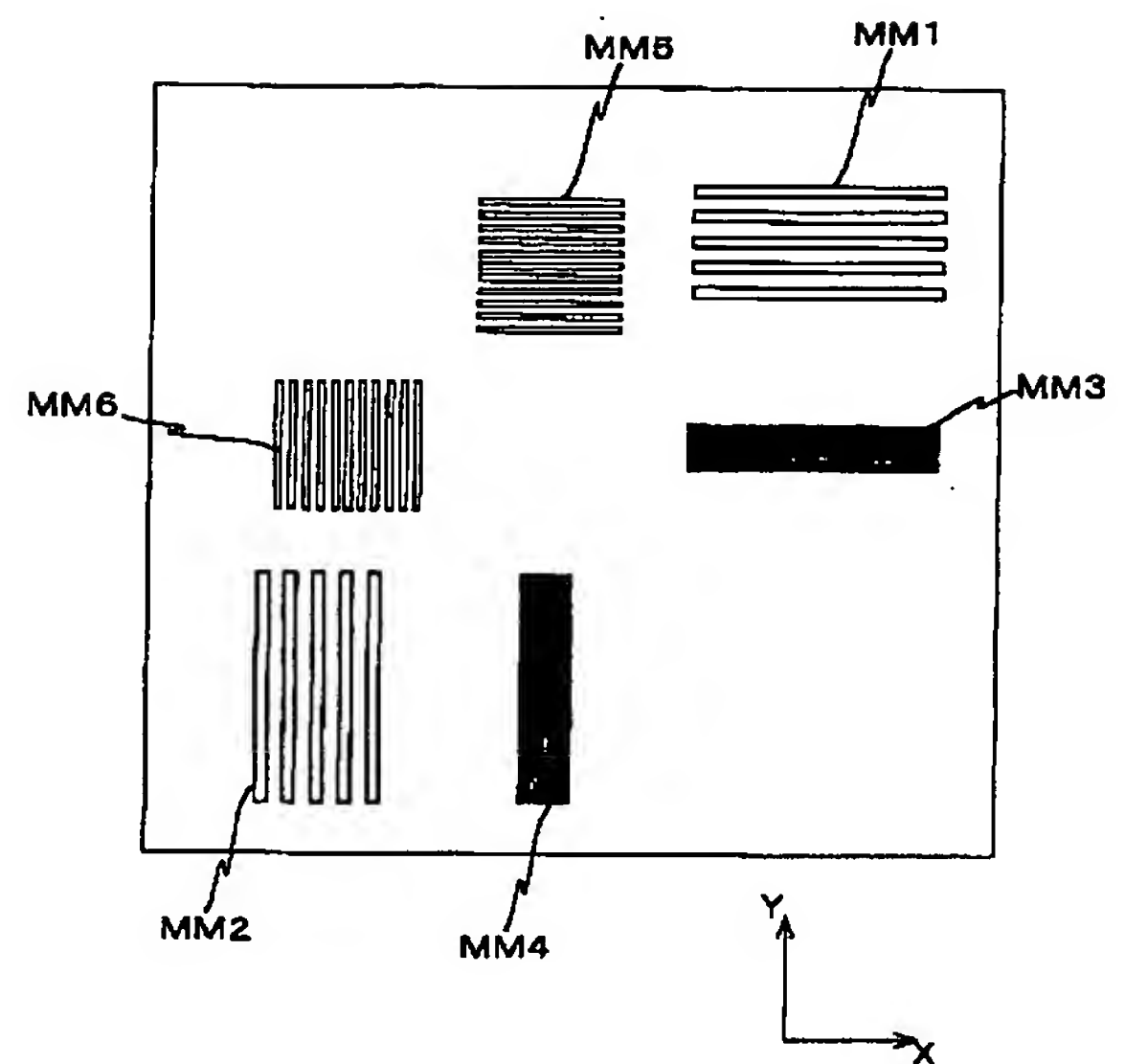
【図17】



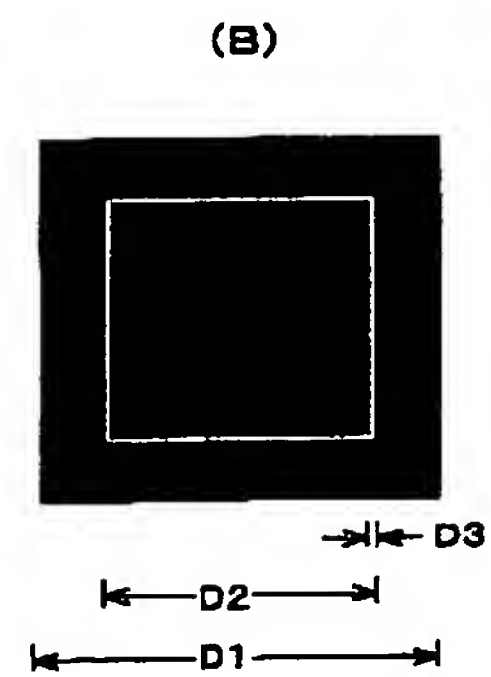
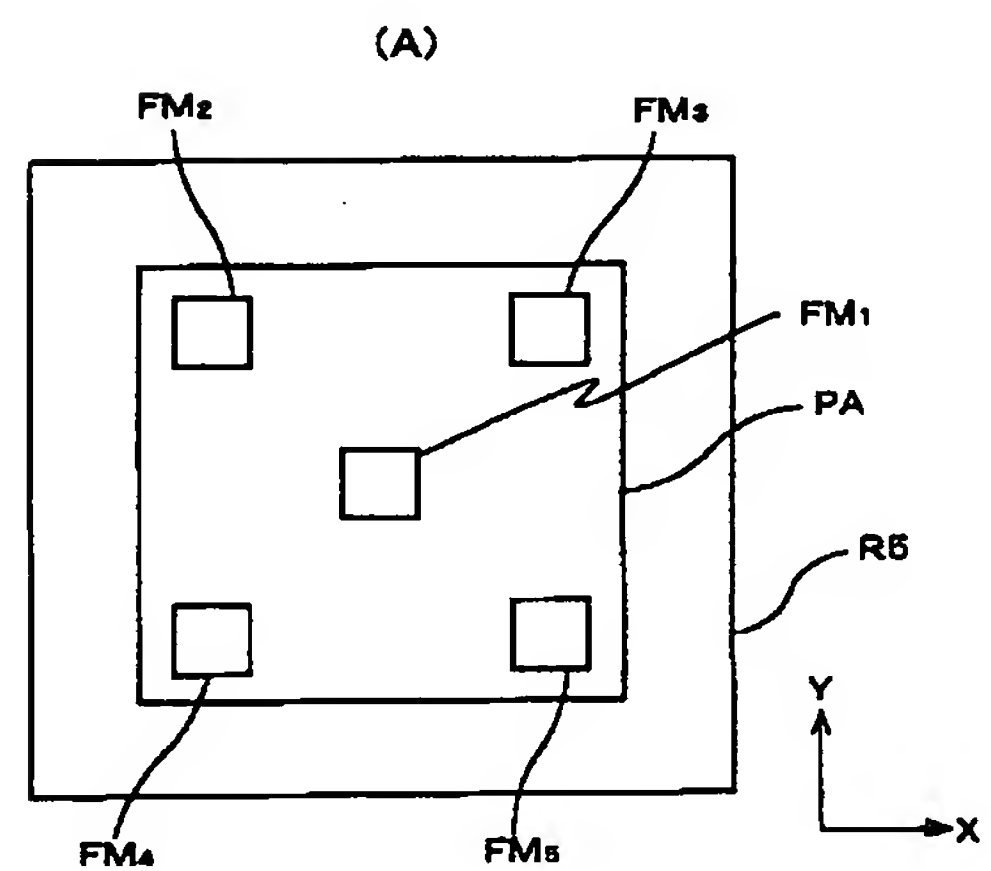
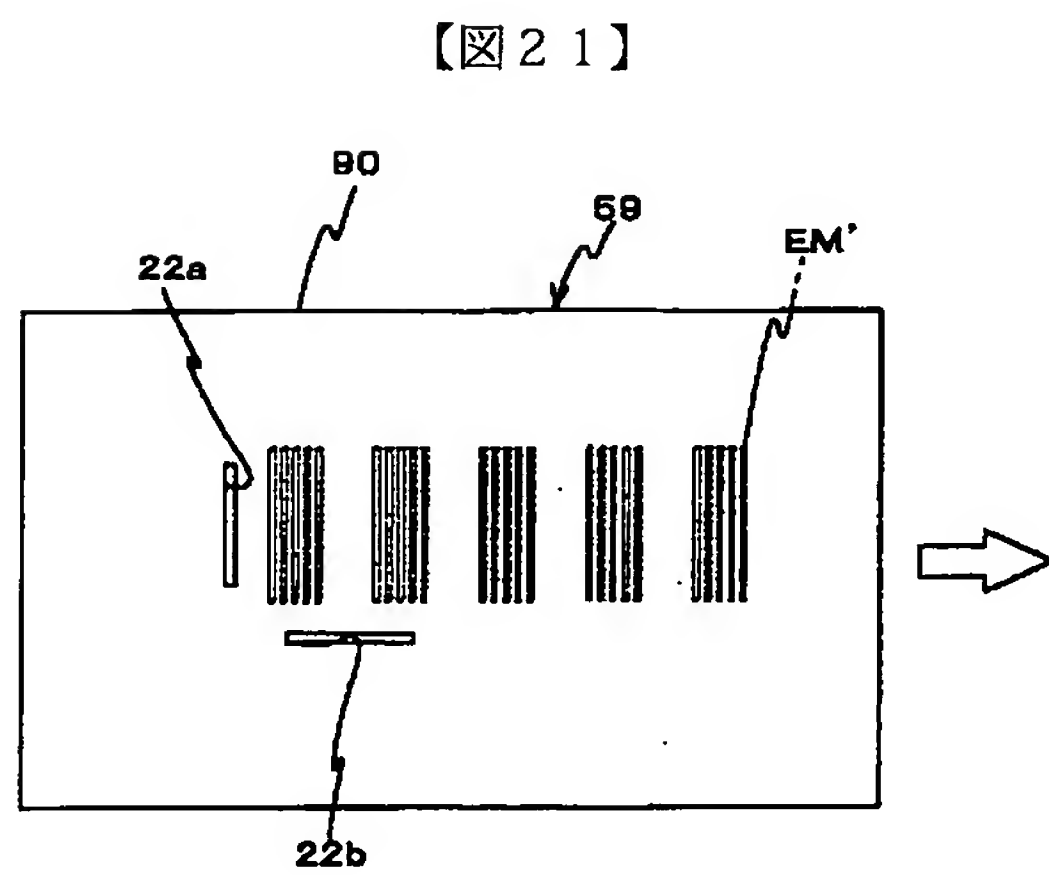
【図15】



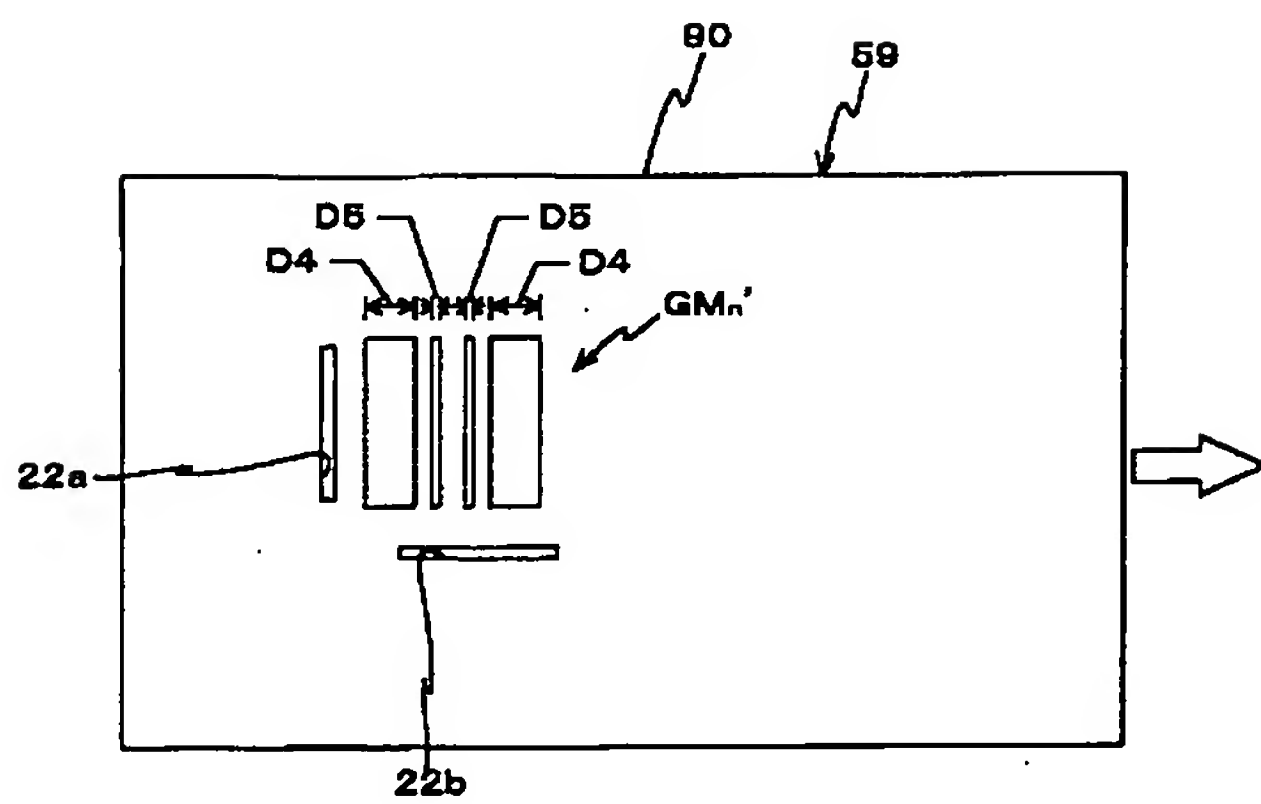
【図18】



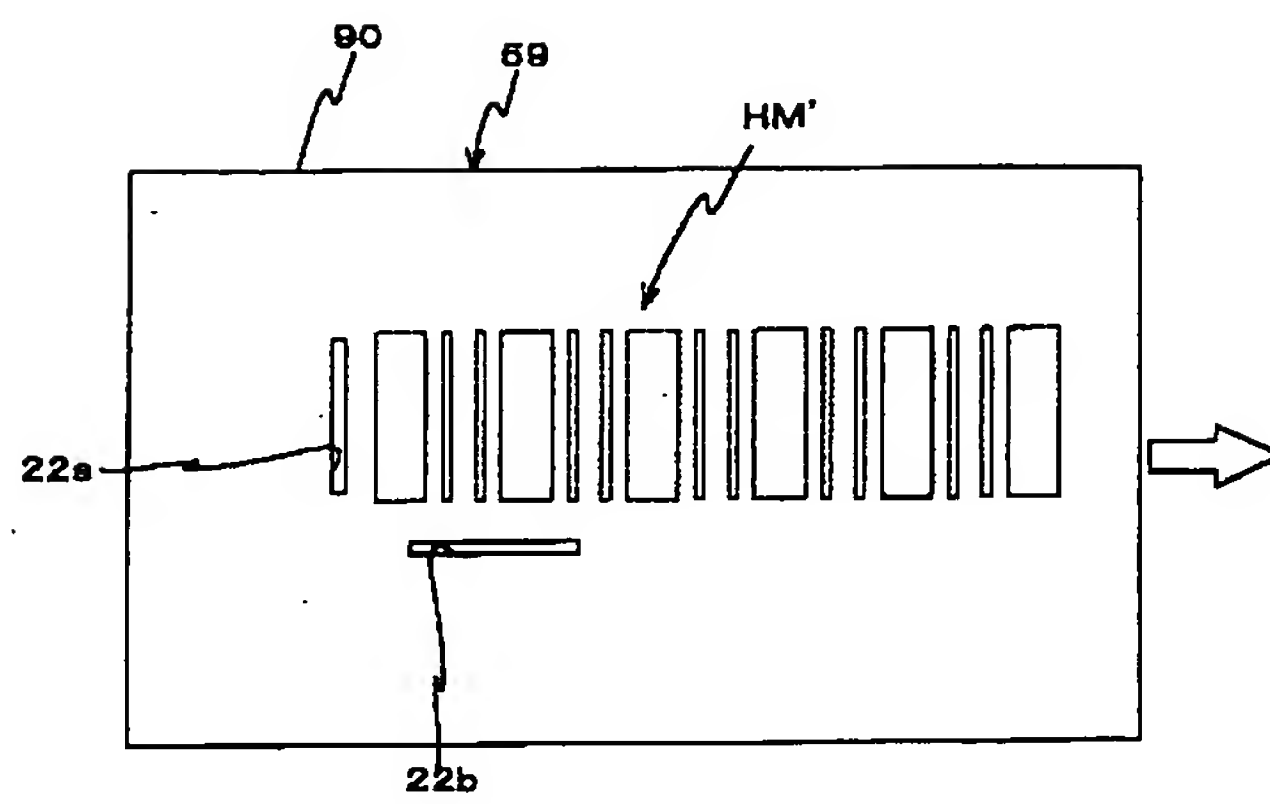
【図23】



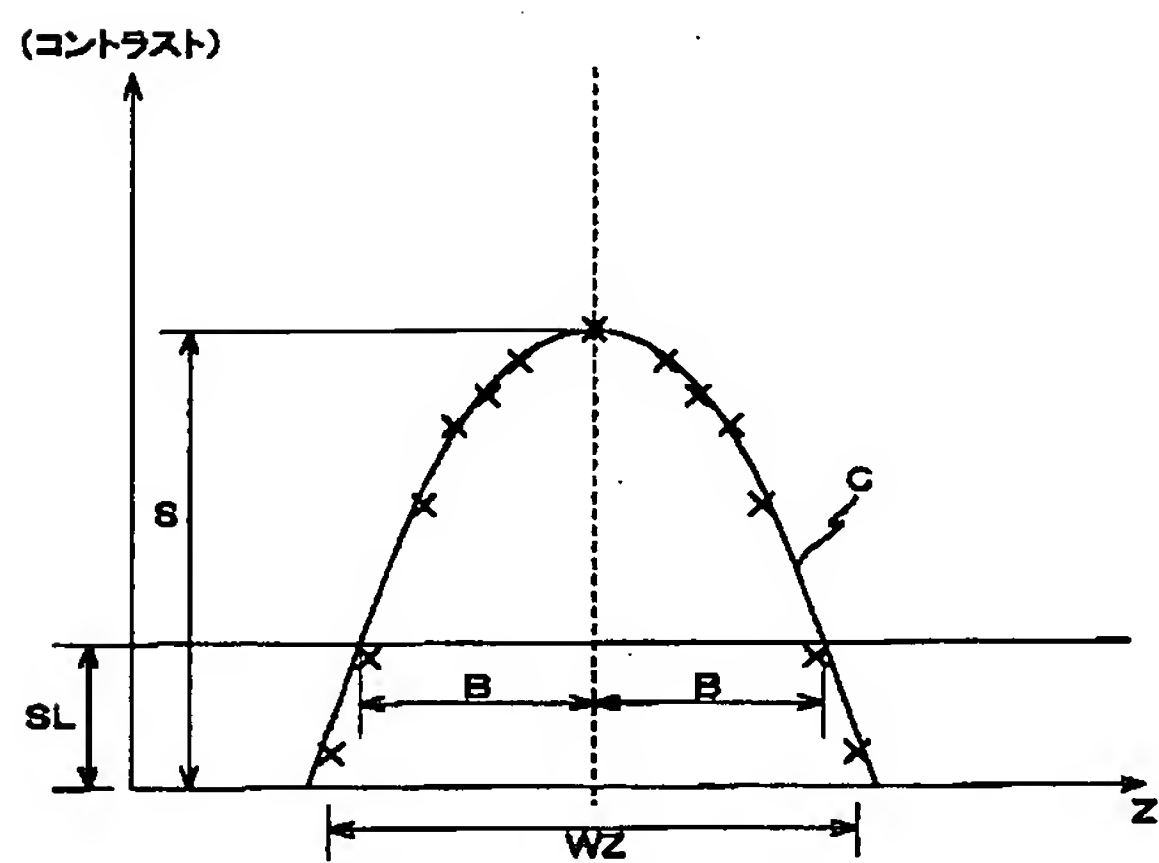
【図24】



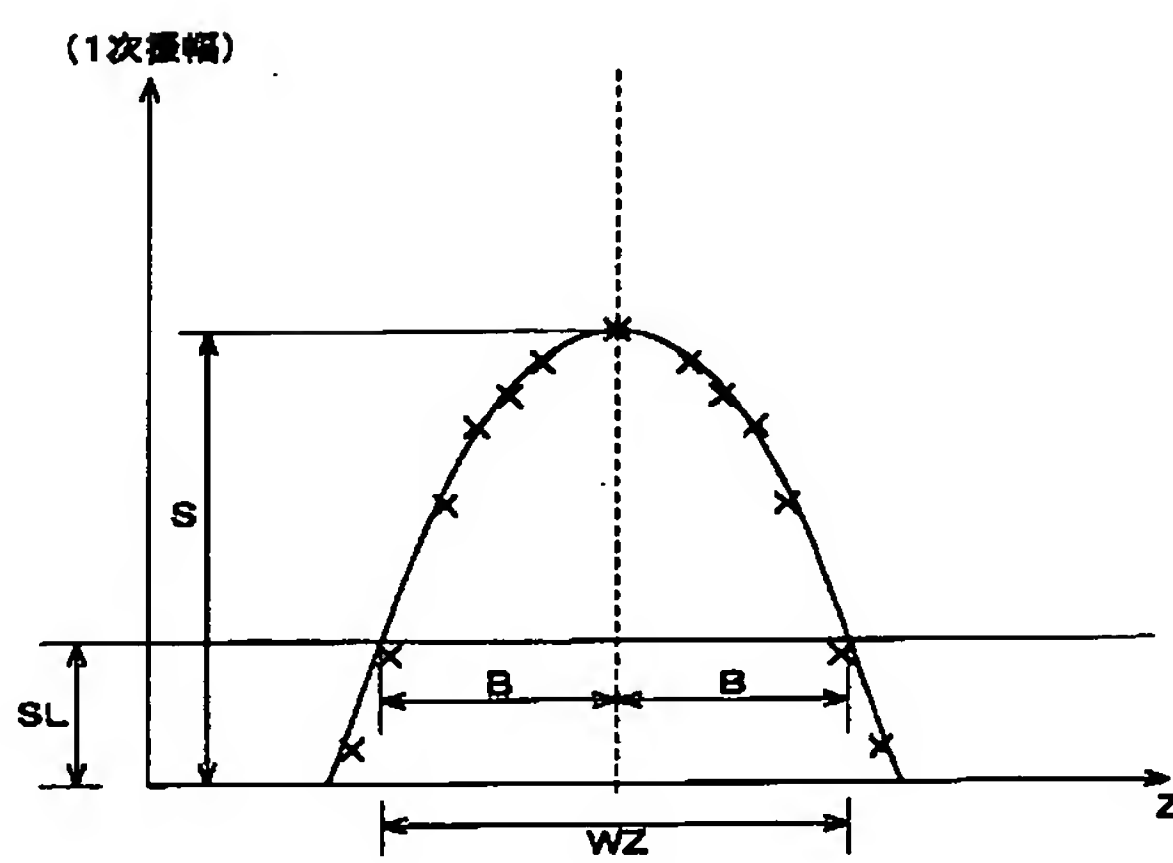
【図25】



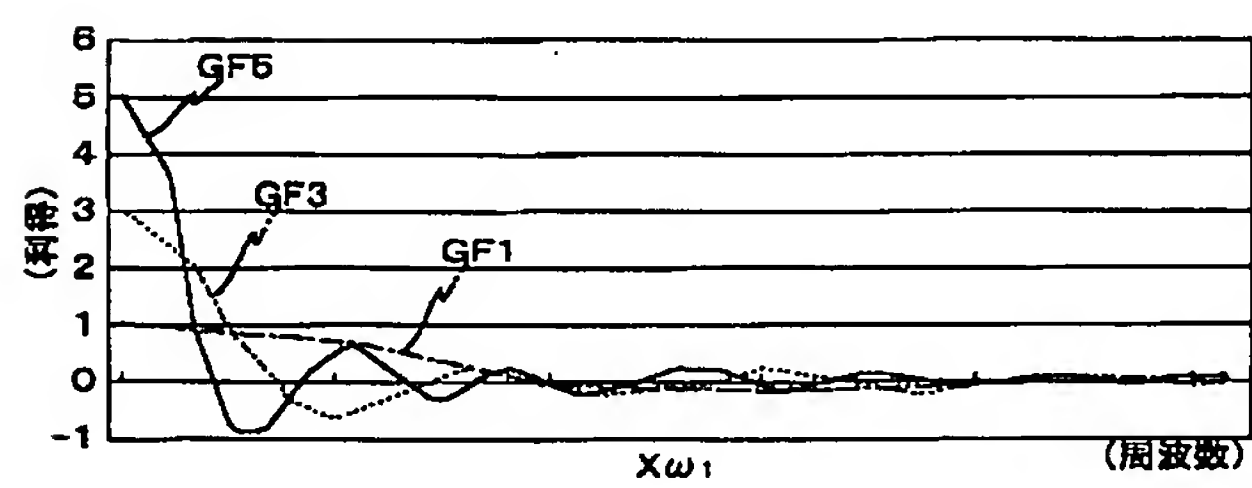
【図26】



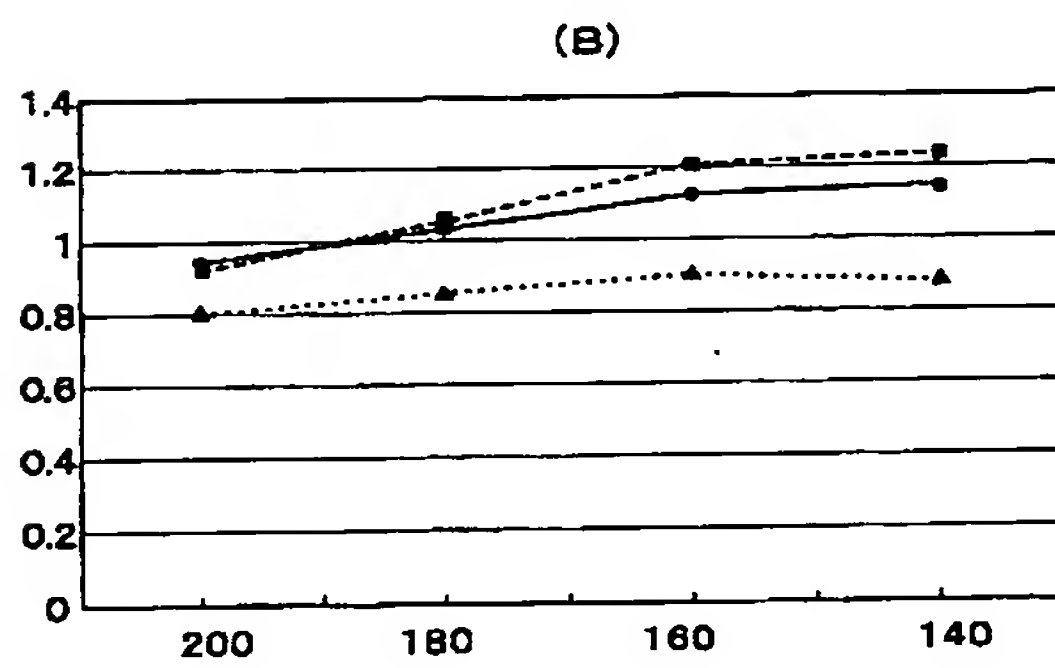
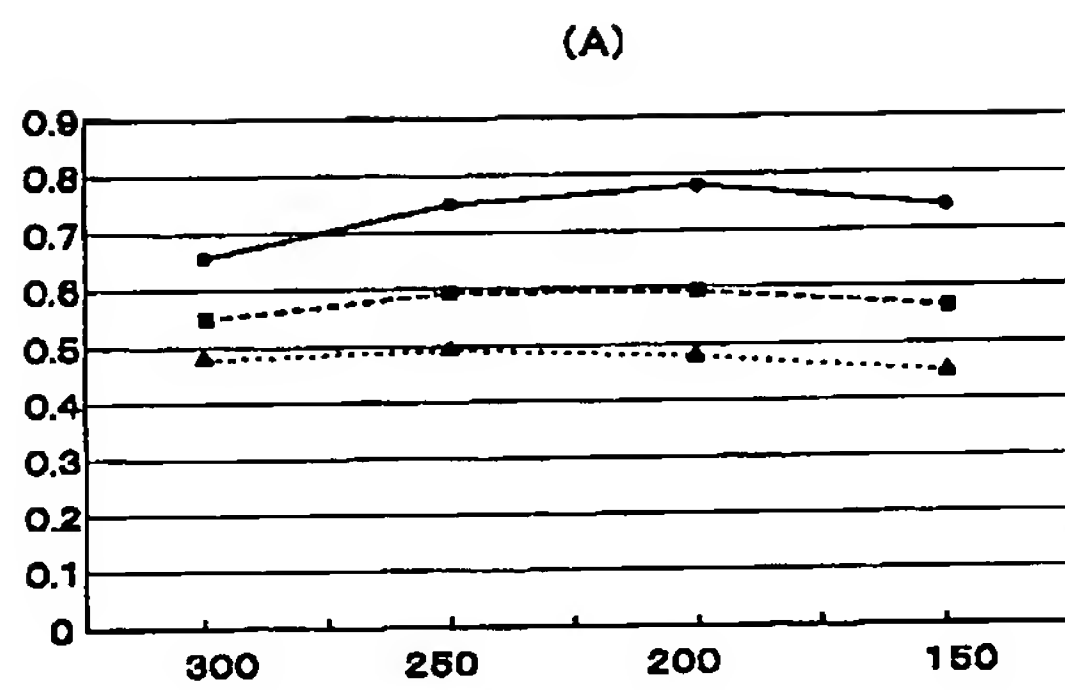
【図27】



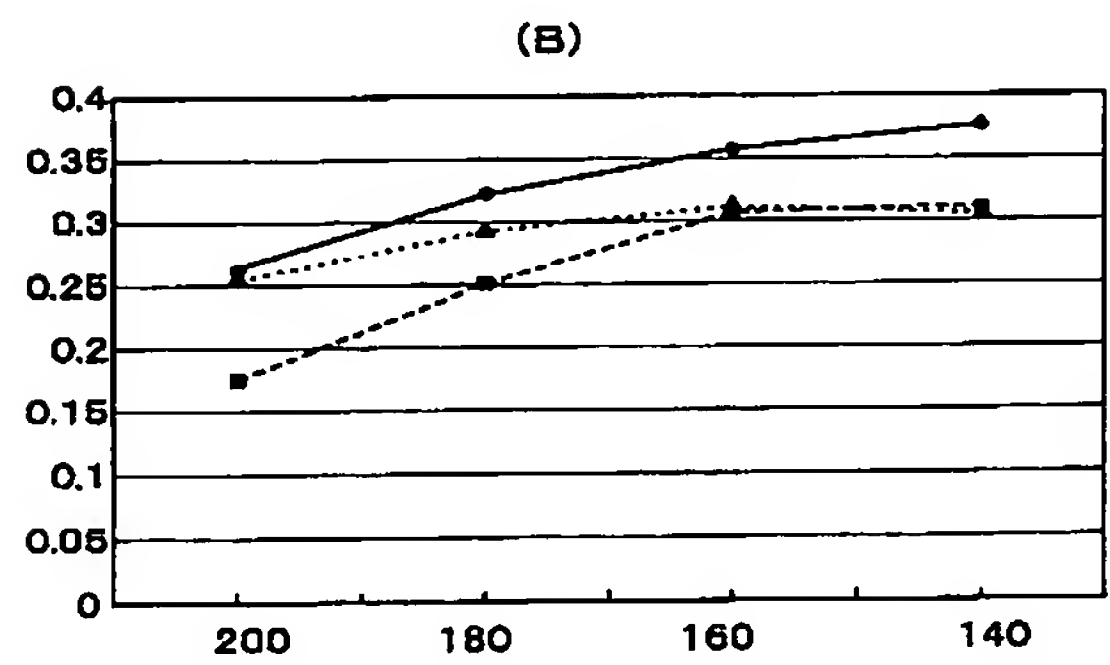
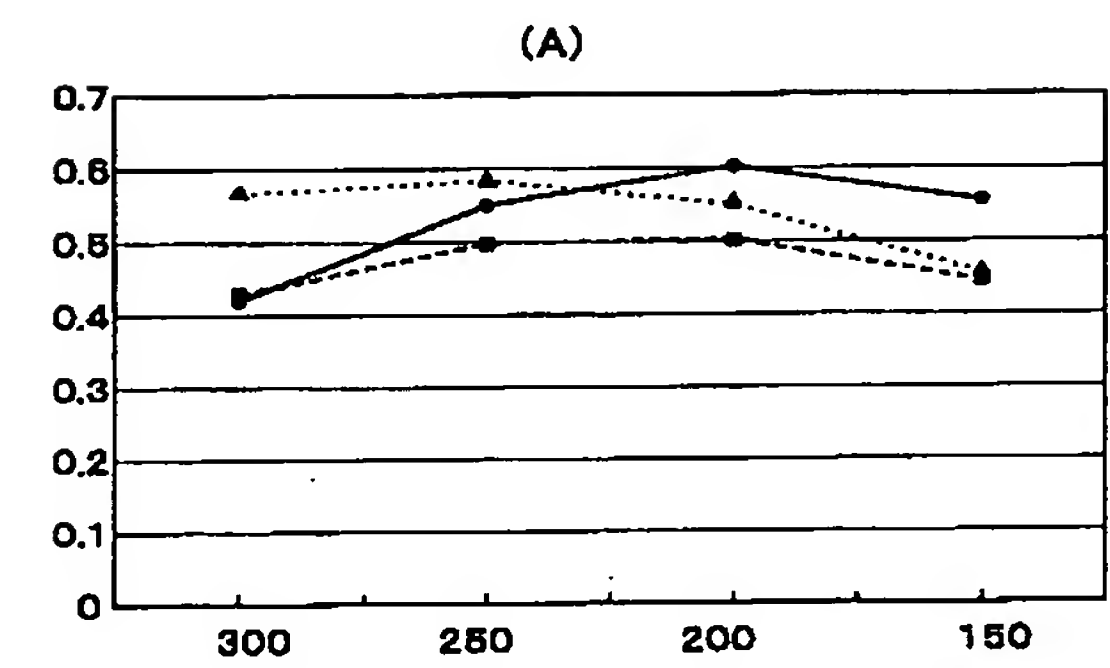
【図34】



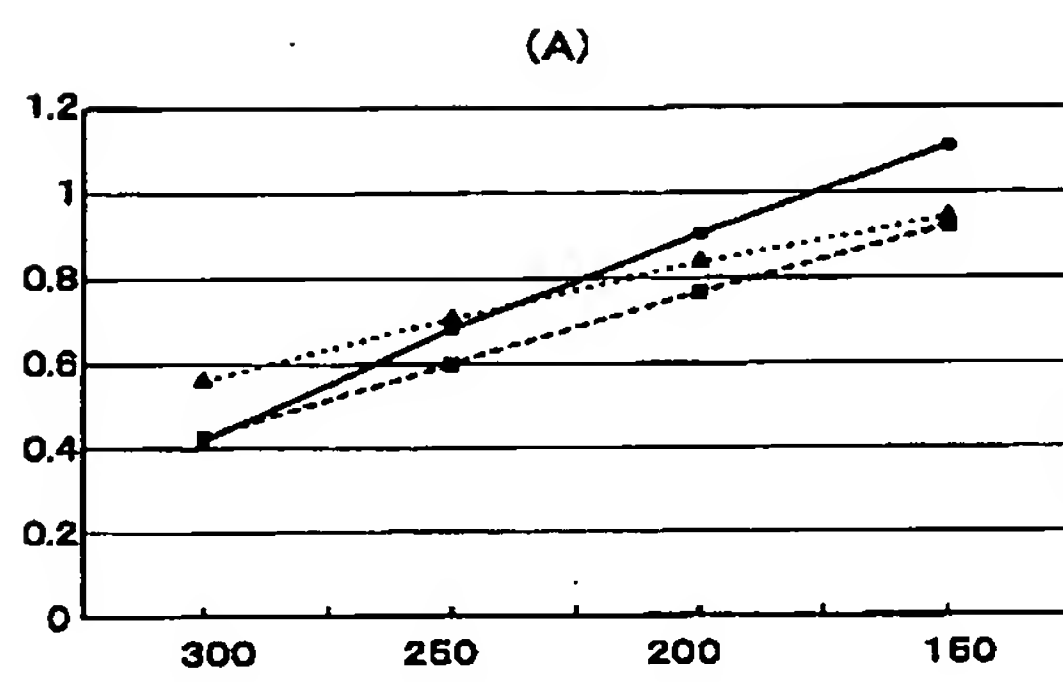
【図28】



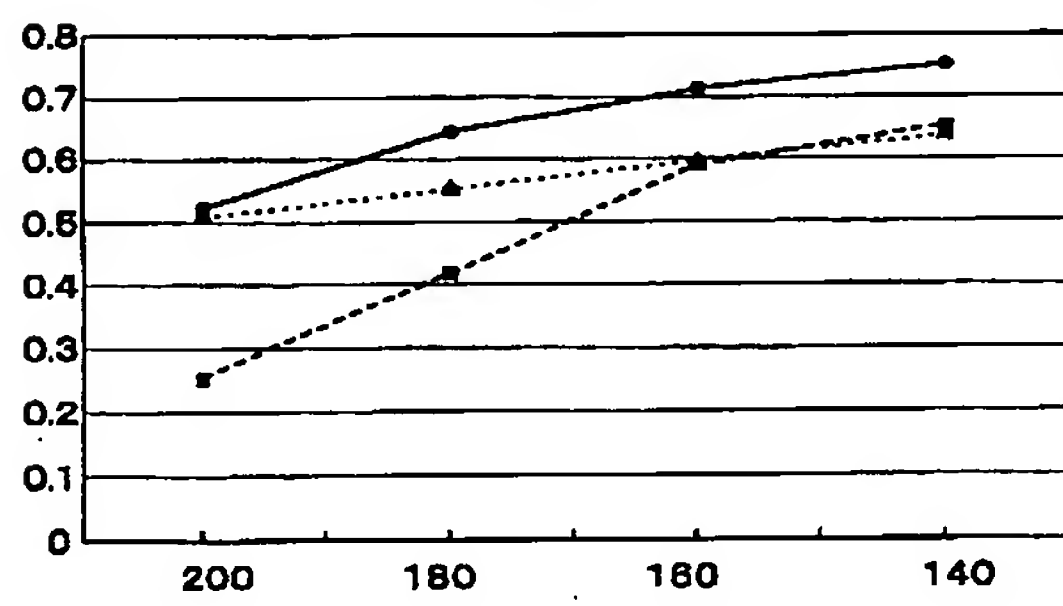
【図29】



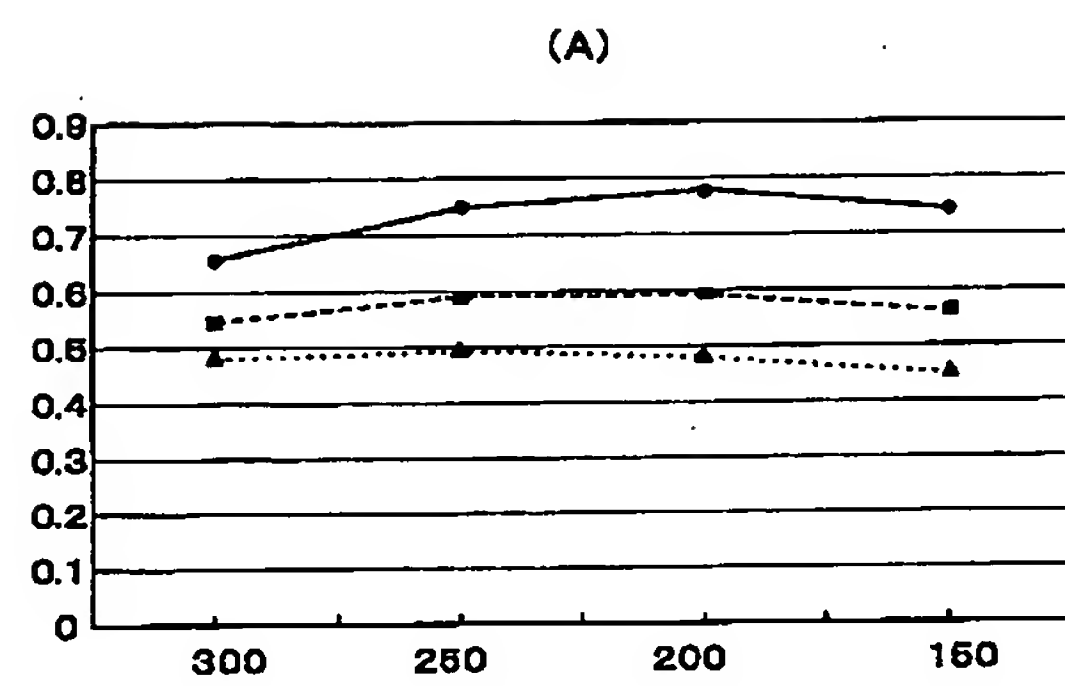
【図30】



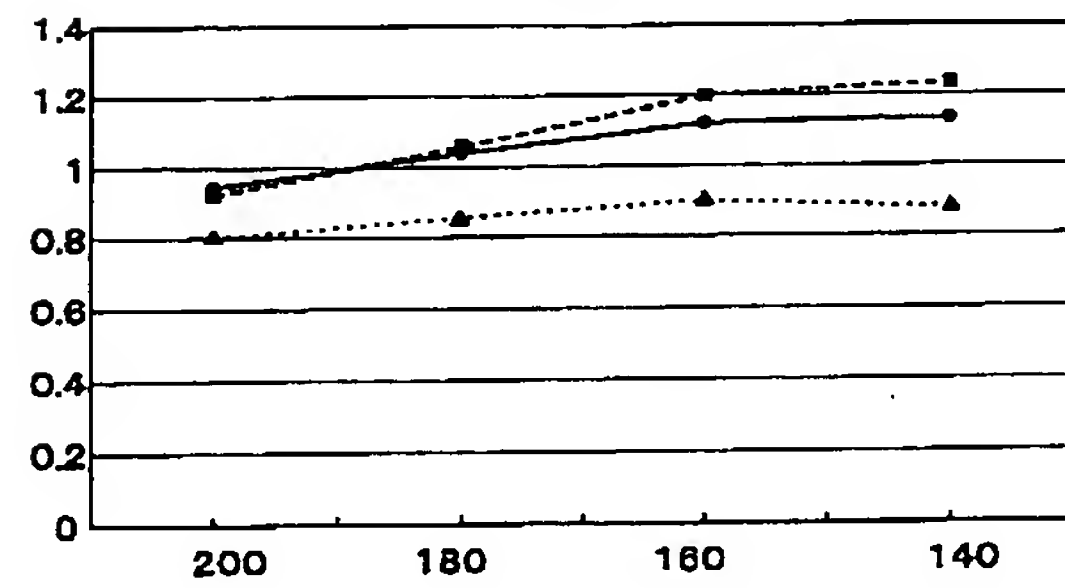
(B)



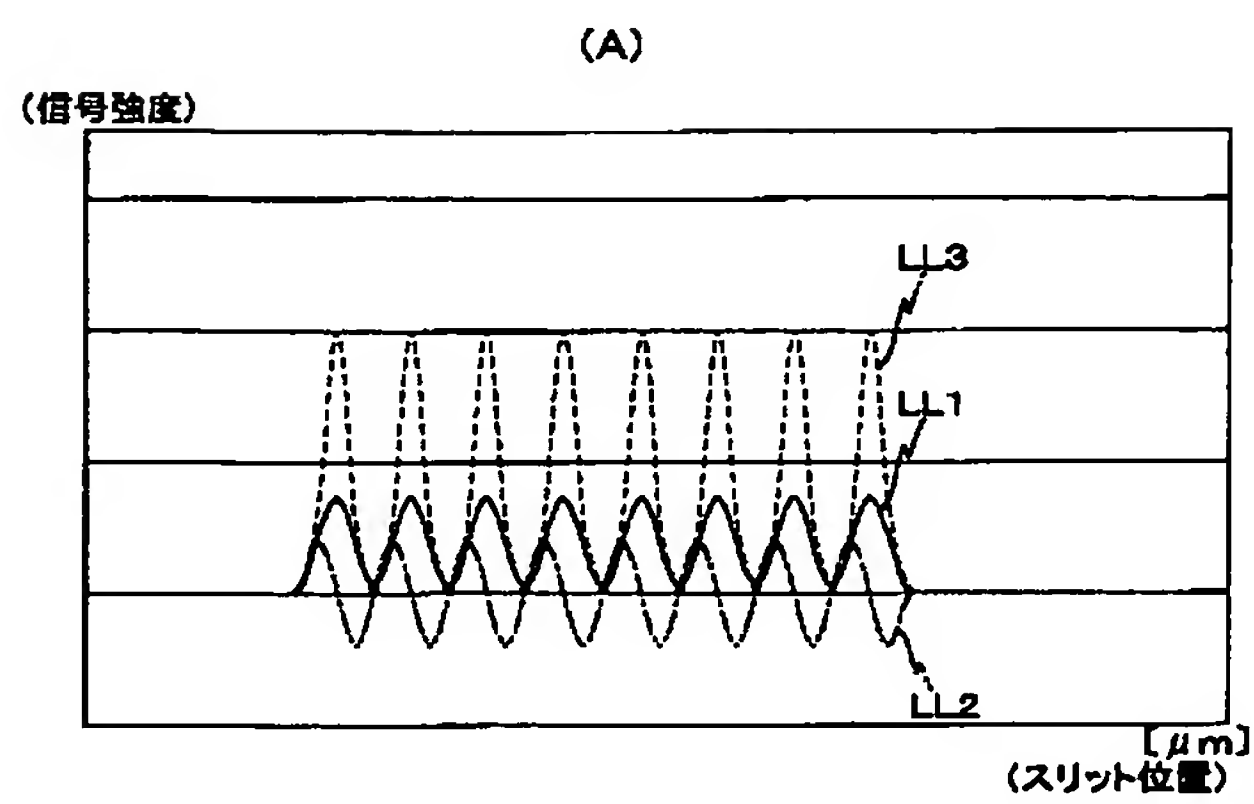
【図31】



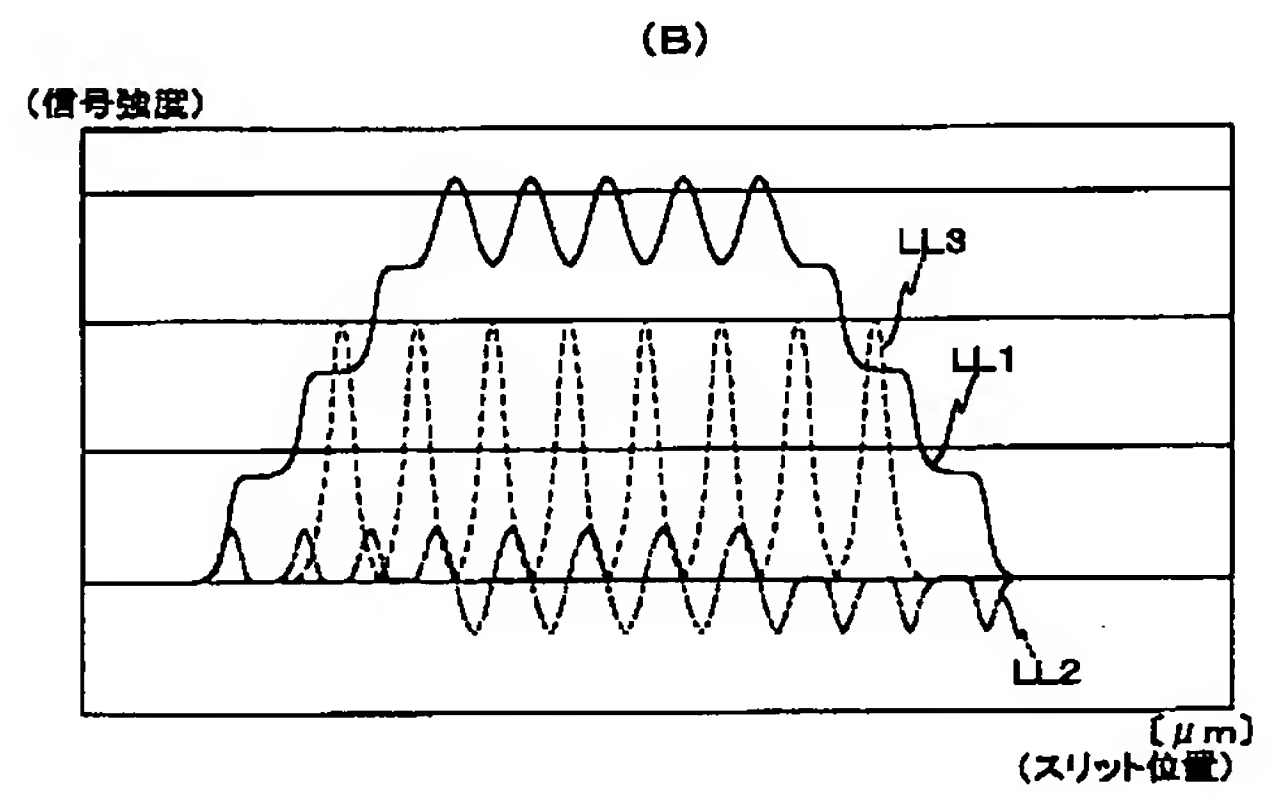
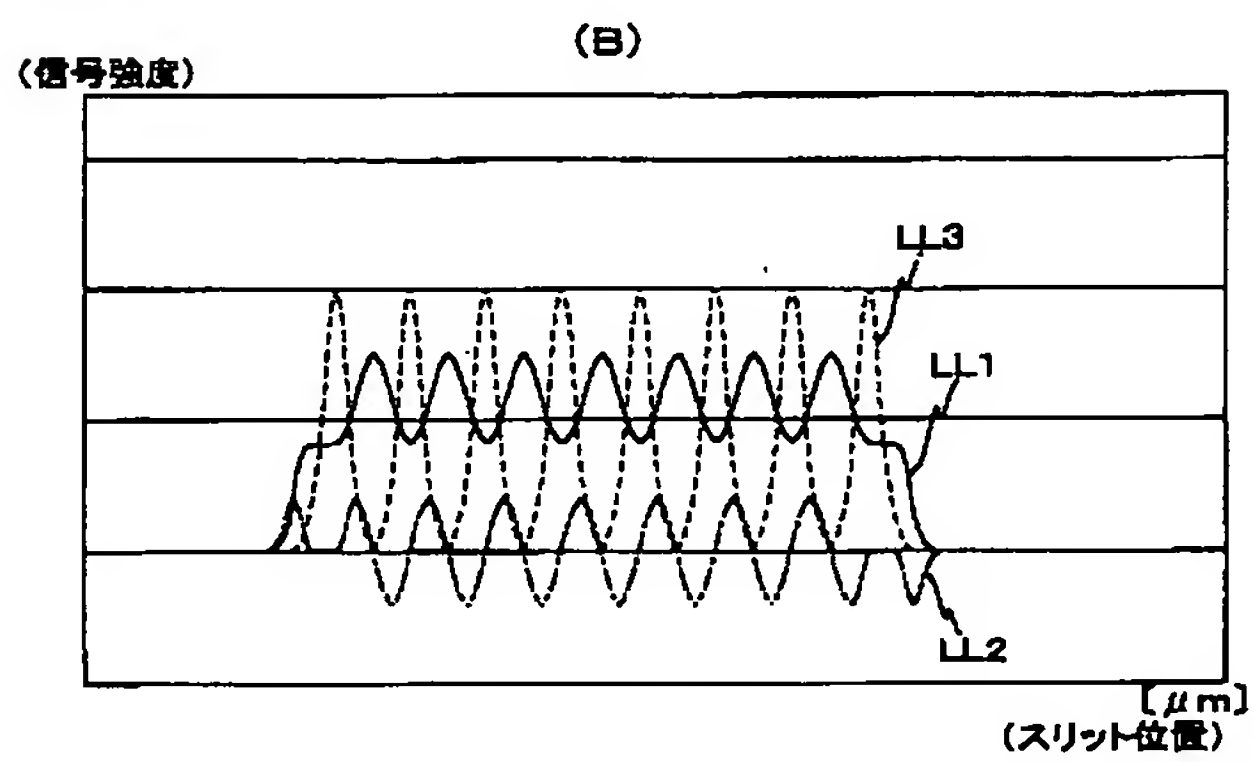
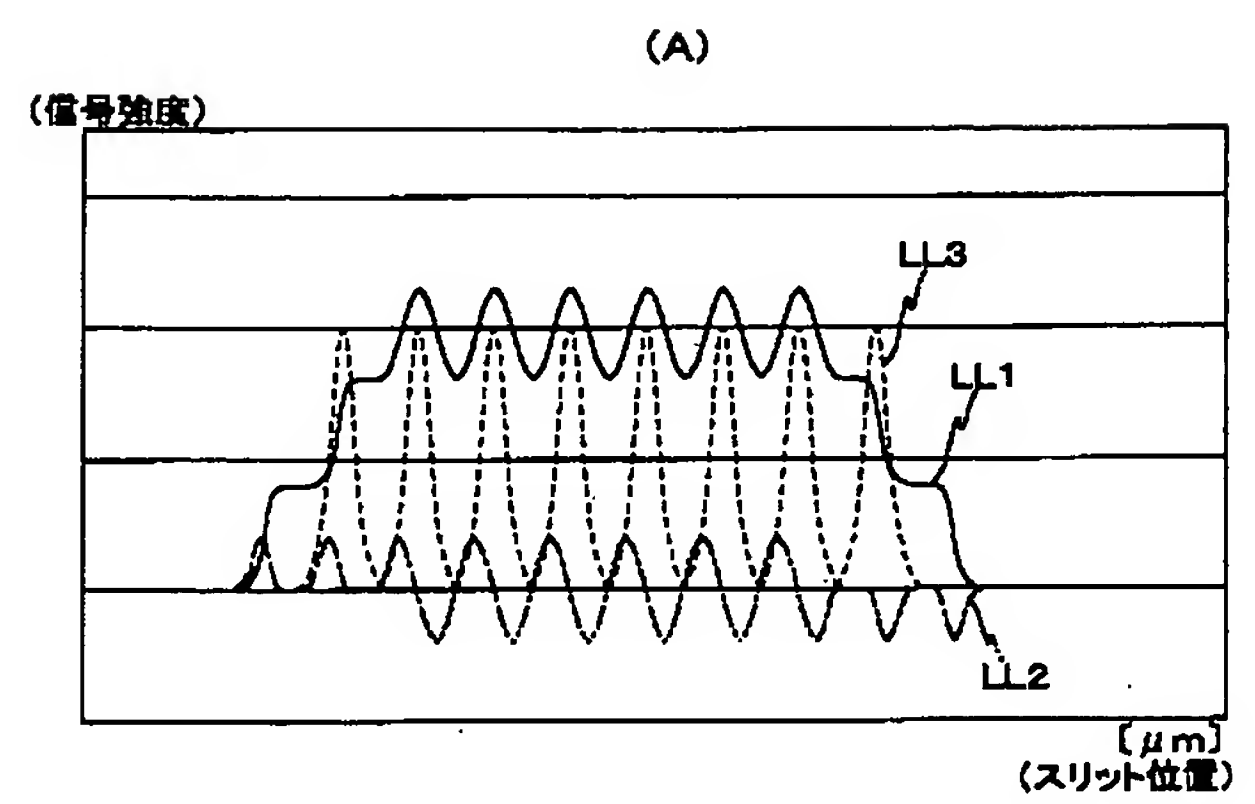
(B)



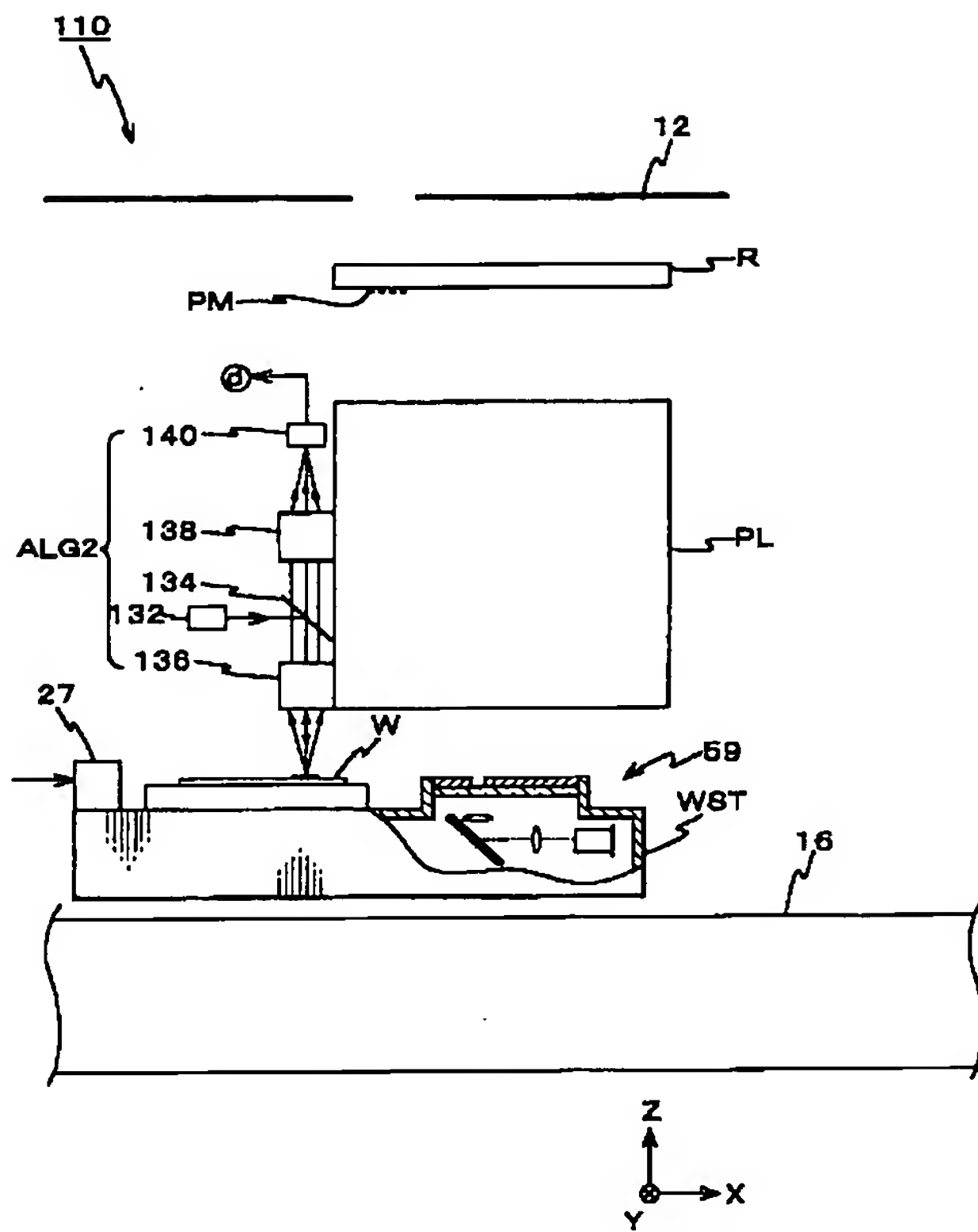
【図32】



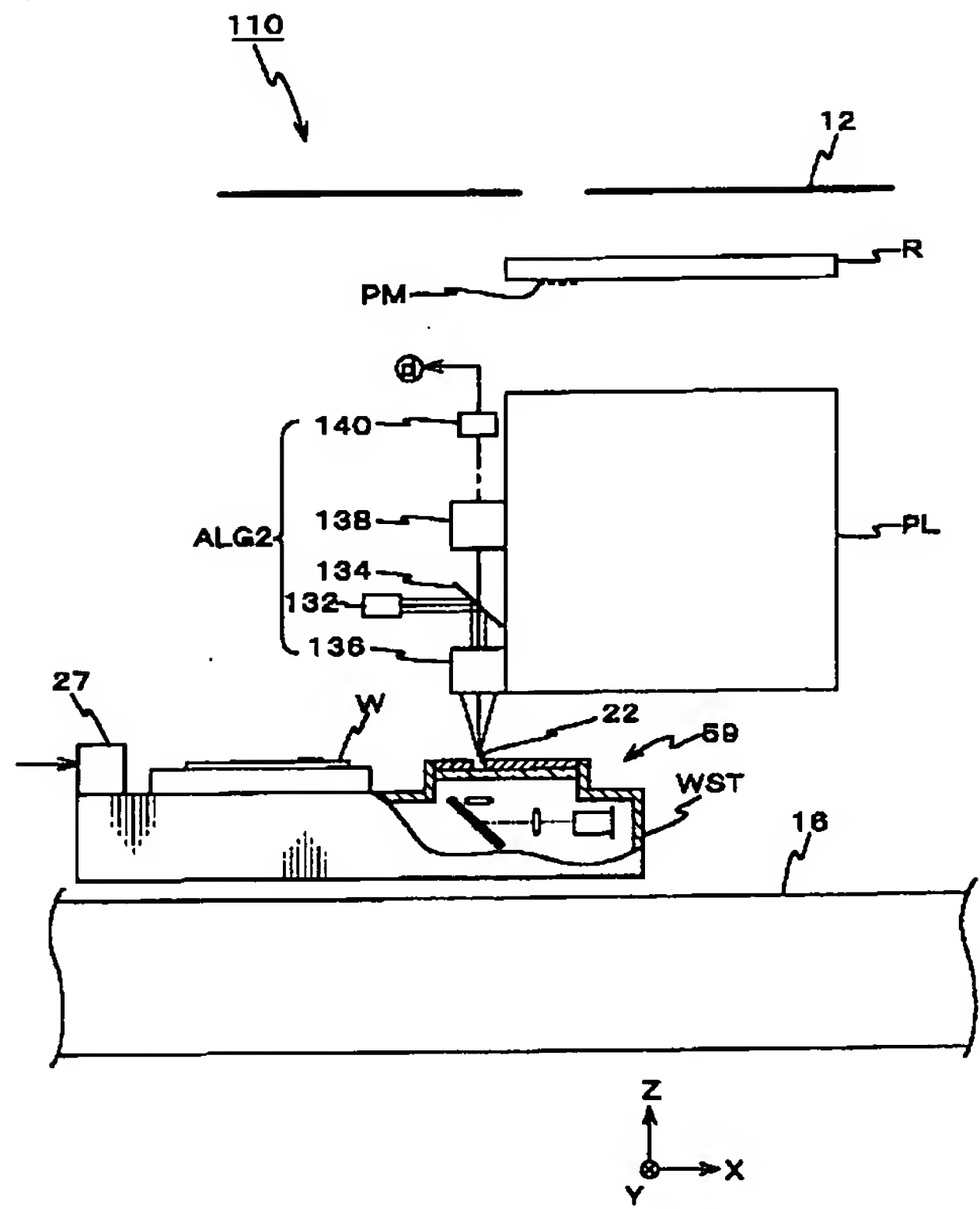
【図33】



【図35】

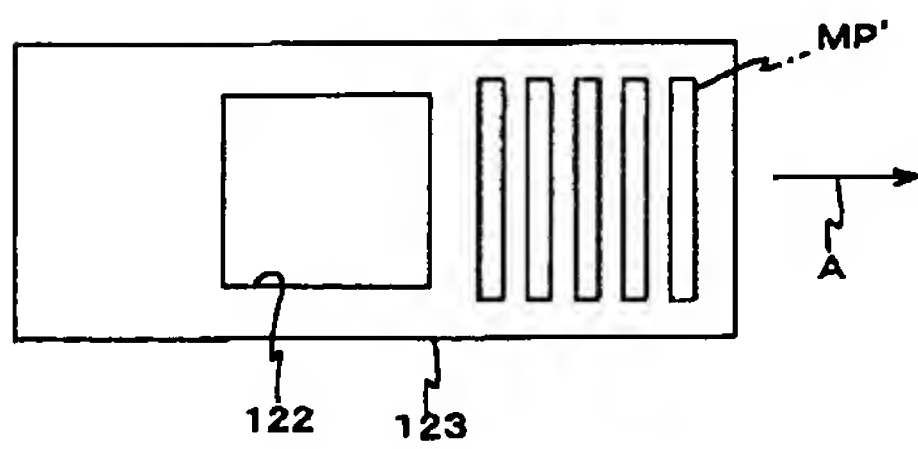


【図36】

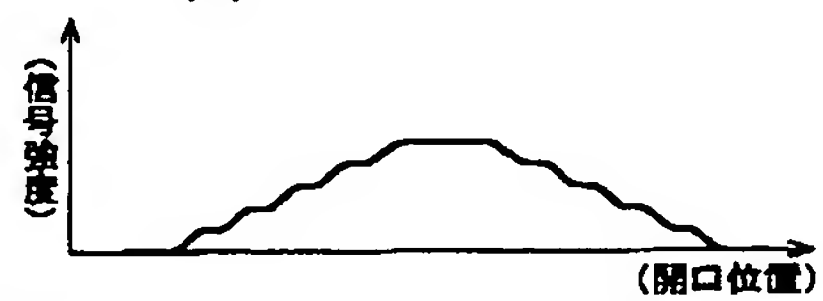


【図38】

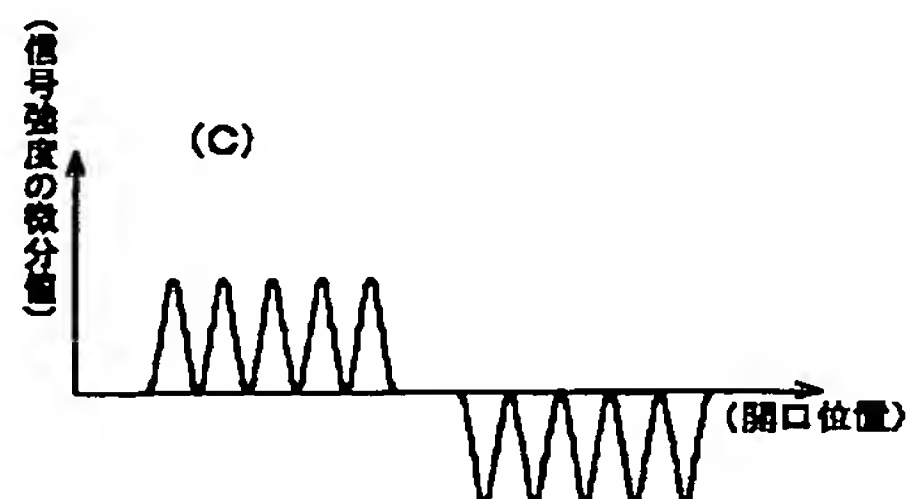
(A)



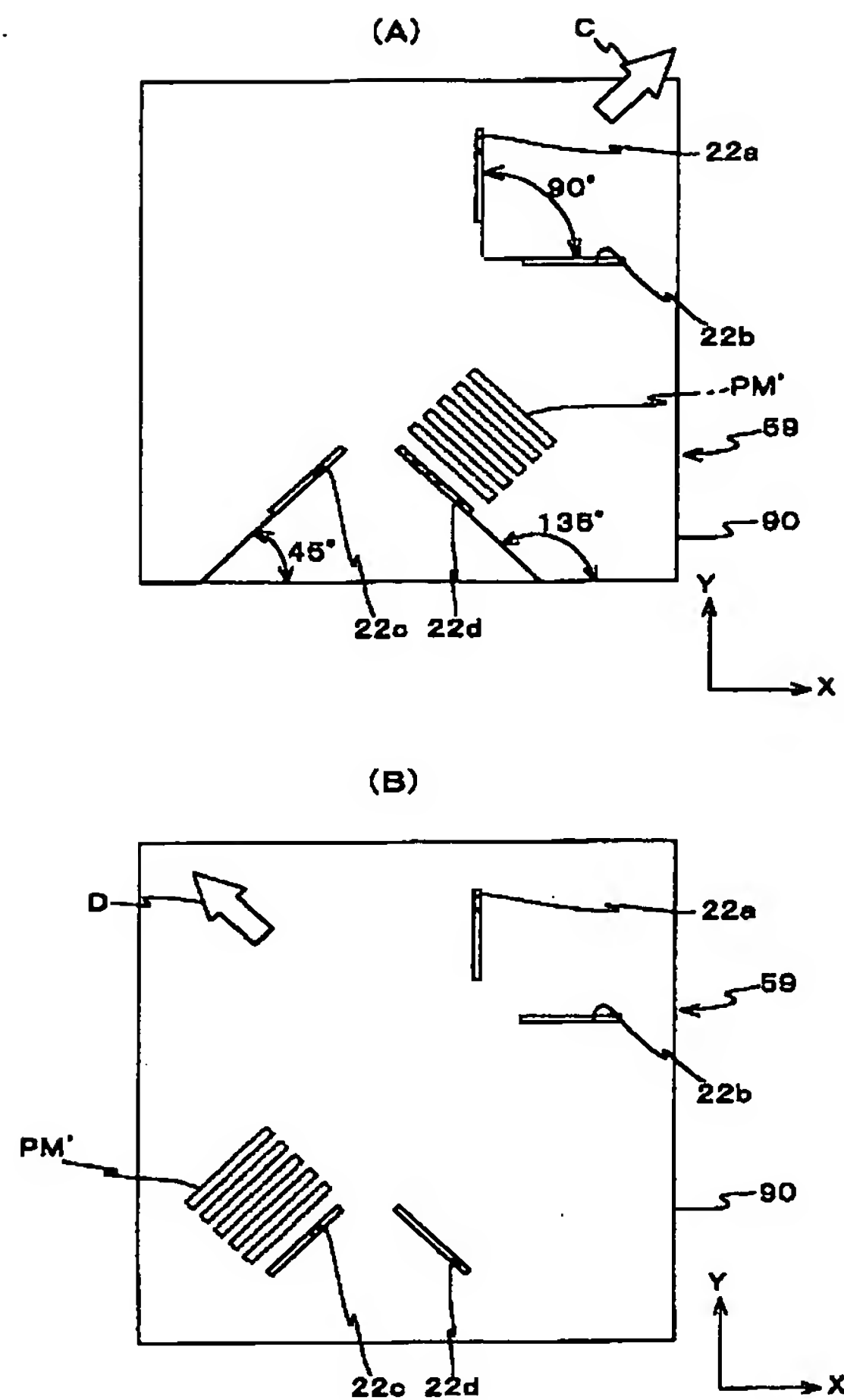
(B)



(C)



【図37】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターム(参考)
G 0 3 F 7/22		G 0 3 F 7/22	H
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 2 5 R

F ターム(参考) 2F065 AA04 AA06 AA07 CC20 DD04
 EE08 FF01 GG04 HH06 HH13
 LL01 LL28 LL63 MM24 PP12
 QQ16 QQ23 QQ41 UU01 UU02
 UU05
 2G086 HH05 HH07
 5F046 BA03 DB05 DB08 FA09 FA16
 FB14 FB16